



Energiebesparing mobiele belichting roos

Vergelijking van de productie en fotosynthese, en modelmatige groeianalyse van roos onder lange slag mobiel licht en onder vast licht.

Nollie Marissen, Anne Elings*, Jan Snel*, Mary Warmenhoven, Esther Meinen*, Paul Dijkhuis*, Dave Kouwenhoven, Peter Schrama, Dik Uenk*

Een samenwerkingsproject van PPO-Glastuinbouw & * Plant Research International



© 2005 Wageningen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vervaelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Praktijkonderzoek Plant & Omgeving.

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V. is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

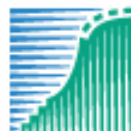
Dit project is gefinancierd door:

Productschap Tuinbouw
Louis Pasteurlaan 6
Postbus 280
2700 AG Zoetermeer



En

Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit
Postbus 20401
2500 EK Den Haag



**landbouw, natuur en
voedselkwaliteit**

Projectnummer: 41616002
PT- nummer: 11461

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Business Unit Glastuinbouw

Adres : Kruisbroekweg 5, 2671 KT Naaldwijk
Postbus 8, 2670 AA Naaldwijk

Tel. : 0174 - 63 67 00

Fax : 0174 - 63 68 3

E-mail : infoglastuinbouw.ppo@wur.nl

Internet : www.ppo.wur.nl

Plant Research International

Droevendaalsesteeg 1, Wageningen
Postbus 16, 6700 A Wageningen

0317 - 47 70 00

0317 - 41 80 84

post.plant@wur.nl

www.plant.wur.nl

Inhoudsopgave

pagina

SAMENVATTING.....	4
1 INLEIDING	7
1.1 Probleemstelling	7
1.2 Doelstelling	7
1.3 Aanpak	7
1.4 Fysiologische achtergronden	8
1.5 Modellerings gewasgroei	8
2 MATERIAAL EN METHODEN	9
2.1 Gewas, kas en teeltsysteem	9
2.1.1 Gewas	9
2.1.2 Kas en teeltsysteem	9
2.1.3 Licht	10
2.1.4 Voeding, klimaatsinstellingen, gewasbescherming	11
2.1.5 Waarnemingen productie, klimaat, bladtemperatuur en houdbaarheid	12
2.2 Fotosynthesemetingen	13
2.2.1 Keuze blad	14
2.2.2 Aanpassingen voor meten in rolbedstelsysteem	14
2.2.3 Gaswisselingsmetingen	15
2.2.4 Chlorofyl fluorescentie.....	15
2.3 Modellerings	16
2.3.1 Model	16
3 RESULTATEN EN DISCUSSIE	25
3.1 Gerealiseerd kasklimaat	25
3.2 Productie	27
3.3 Bladtemperatuur	30
3.4 Houdbaarheid.....	32
3.5 Bladoppervlak.....	32
3.6 Fotosynthesemetingen	34
3.6.1 Inventariserende metingen in snee 1	34
3.6.2 Metingen snee 2	39
3.6.3 Metingen snee 3	41
3.6.4 Conclusies uit de fotosynthesemetingen	42
3.6.5 Overall conclusie t.a.v. mobiel licht en roos.....	42
3.7 Modellerings	44
3.7.1 Narekenen experimenten.....	44
3.7.2 Conclusies uit de modelberekeningen.....	52
4 CONCLUSIES	54
5 REFERENTIES.....	56

Samenvatting

Aanleiding voor dit onderzoek

Over mobiele belichting wordt al jarenlang op verschillende manieren gedacht: enerzijds zou het een manier zijn om lage lichtintensiteiten goed te verdelen over het gewas, anderzijds zou het een manier zijn om energie te besparen, doordat met minder lampen hetzelfde groei-effect werd verwacht.

De 'bewijzen' van meerproductie onder mobiel licht, vergeleken met dezelfde of een hogere lichtsom waren alleen afkomstig uit praktijkproeven.

Een echte fysiologische verklaring voor de vermeende effecten van mobiel licht is nooit gegeven en getoetst. Eén van de theorieën veronderstelt een beter gebruik van het licht (daglicht én assimilatielicht) doordat er af en toe een lichtpuls van hogere intensiteit de planten raakt. Ook zou het op gang komen van de fotosynthese tijdens de lichtpuls beter zijn dan bij continue belichting, zodat wanneer het daglicht fluctueert, de fotosynthese sneller op gang komt in de lichte perioden. Een eventuele betere regulatie van de opening van de huidmondjes (waar de CO₂ door naar binnen moet) is ook genoemd.

Om te bepalen of er positieve effecten van mobiele belichting zijn en of ze te verklaren zijn uit de eigenschappen van de fotosynthese is een proef met roos uitgevoerd. In deze proef is gekozen voor de zogenaamde 'lange slag' mobiele belichting. Dat wil zeggen dat de lampen een lange weg afleggen boven het gewas (in dit project ca 10 meter) en dat de lichtintensiteit tussen twee lichtpulsen in heel laag of nihil is. Ook is er geen achtergrondbelichting van vaste assimilatiebelichting bij de mobiele belichting. De lichtintensiteit voor de planten onder mobiele lampen varieert 's nachts daardoor van heel hoog tot nul. In de rozenpraktijk wordt ondertussen vooral belicht met 'korte slag' belichting, waar de weg van de lampen meestal van poot tot poot is, dus 4 à 5 meter, en waarbij er wél achtergrondbelichting is van vaste lampen. Deze planten ondervinden dus wel een wisselende lichtintensiteit, maar 's nachts wordt de lichtintensiteit nooit nul.

Te verwachten is dat de fysiologische verschillen tussen mobiele en vaste belichting bij een lange-slag belichting groter zijn dan bij een korte-slag belichting.

Uitvoering

In een kasexperiment zijn in twee kassen rozen geteeld onder mobiele belichting of vaste belichting. De proefvelden zijn zodanig gekozen dat er een vergelijking kon worden gemaakt tussen mobiel of vast belicht met dezelfde lichtsom (hoeveelheid licht per tijdseenheid). Er werden twee lichtsommen vergeleken: van 3 tot 5 mol/dag en van 1 tot 3 mol/dag. Het type mobiele belichting was 'lange slag' zonder vaste achtergrondbelichting. De lampen maakten een slag van ca 11 meter en hadden één langzame richting (0.5 meter per minuut) en één snelle richting (5 meter per minuut). Bij dit type belichting werd verwacht dat de verschillen in fotosynthese-eigenschappen het beste naar voren zouden komen en dus ook de verschillen in productie. Bij het indienen van dit projectvoorstel was 'korte slag' belichting met vaste achtergrondbelichting nog niet in zwang. De meetperiode duurde één winterseizoen (2003 – 2004) en de teelt ('First Red') is gestart in week 35 (2003).

Gedurende de meetperiode is de productie nauwkeurig gevolgd: het aantal takken, takgewicht en taklengte. Tevens zijn op regelmatige tijdstippen de twee fotosynthese-eigenschappen gemeten. Als eerste het effect van lichtintensiteit op fotosynthese en ten tweede is gemeten of de fotosynthese in de teelt met mobiele lampen sneller 'op gang' komt dan in de teelt onder vaste belichting. Vervolgens is met behulp van een rekenmodel voor de groei van rozen nagegaan of een andere manier van mobiel belichten andere producties zou geven.

Productie

Bij de hoge lichtsom bleek de productie (kg per m²) onder mobiele lampen lager te zijn dan onder vaste belichting. Dit verschil ontstond doordat zowel het aantal takken als het gewicht per tak lager was onder de mobiele belichting. Bij de lage lichtsom was het verschil niet significant. De taklengte verschilde niet.

Fotosynthese

Uit de fotosynthesemetingen bleek dat de eigenschappen van de fotosynthese niet veranderden door mobiele belichting. Mobiele belichting zorgde dus niet voor een efficiëntere benutting van het assimilatielicht en daglicht. Ook het op gang komen van de fotosynthese tijdens de lichtpuls is niet anders voor blad onder mobiele of vaste belichting. Aanwijzingen voor een ander gedrag van de huidmondjes zijn niet gevonden. Opvallend was de afwijkende fotosynthese in de eerste weken na de vorige snee: in de loop van de dag werd deze duidelijk lager. Waarschijnlijk werd dit veroorzaakt doordat er weinig assimilaten-gebruikende delen aan de plant zaten en halverwege de dag de behoefte aan assimilaten voor de groei al was gedekt. De plant heeft niet genoeg buffer om de extra aangemaakte assimilaten later op de dag weg te werken. Aangezien bij deze proef met mobiele belichting van het type 'lange slag' geen verschillen zijn gevonden in de fotosynthese-eigenschappen van het blad, is niet te verwachten dat dit bij korte-slag belichting wel zal optreden: de wisselingen in lichtintensiteit zijn in deze lange-slag opzet veel groter dan bij korte slag en zullen eerder een reactie in de fysiologie van de plant teweegbrengen dan korte-slag belichting.

Groeisimulatie

Door een groeimodel te gebruiken, kon worden berekend of een langzamere of snellere beweging van de lampen en/of een kortere slag een effect zouden kunnen hebben op de groei en productie van de planten. De loopsnelheid bleek niet van invloed op de berekende productie. Een korter looppad van de lampen gaf een hogere productie, omdat de lamp een plant vaker passeert. Wanneer het vermogen van de mobiele lampen werd gehalveerd kon dit worden gecompenseerd met aanvullende vaste belichting. Over het algemeen bleek uit het model dat het vermogen van de lampen van veel grotere invloed was op de productie dan de wijze van mobiel belichten. Andere waarnemingen zijn gedaan aan de houdbaarheid (geen verschil tussen mobiele of vaste lampen, de bladtemperatuur (loopt kort enkele graden op bij het langskomen van de lamp, maar daalt ook direct weer als de lamp weg is) en aan het ontwikkelde bladoppervlak (geen verschil tussen de behandelingen).

Conclusie

De extra investering die gedaan moet worden om lampen mobiel toe te passen zal niet renderen in dit lange-slag systeem.

Summary

Background

Mobile assimilation light has often been claimed to be more effective in terms of plant growth than static illumination. If so, artificial lighting would require less energy for growth and production. However, solid foundations of this statement have never been given.

In order to quantify the claimed differences between mobile and static lighting, and to clarify the mechanisms causing these differences, an experiment with rose variety 'First Red' was carried out.

Experimental design

Mobile lamps were mounted 1.8 m above the rooting medium of the plants in one half of the greenhouse. Lampspeed was 0.5 m min⁻¹ on the onward way, and return speed was 5 m min⁻¹. This resulted in a light pulse with a maximum intensity of $\pm 260 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. The other half of the greenhouse was equipped with static lamps at 3 m above the rooting medium. These lamps were mounted in a row in the centre of the greenhouse in such a way that a light-intensity gradient was realised towards the sides.

In each of the two treatments experimental plots were chosen with daily amount of lamplight of 1 – 3 and 3 – 5 mol m⁻² day⁻¹ respectively. A 'traditional' and a 'synchronous' (production in flushes) crop were grown. Production and photosynthetic characteristics were measured during the winter season 2003 – 2004. Photosynthetic characteristics were measured in the synchronous crop. With the INTKAM simulation model for rose, production under diverse mobile lighting regimes was predicted.

Production

Fresh weight production over the experimental period was higher in the static-light treatment than in the mobile-light treatment for both the traditional as well as the synchronous crop. This was caused by a lower number of stems per plant and a lower weight per stem under mobile lighting. Length of stems was not affected.

Photosynthesis

The presumed increase of the efficiency of the photosynthesis was not measured: the light response curves for leaves did not differ between the treatments. Also, the induction of photosynthesis after a simulated light pulse in a cuvette was the same for both treatments.

Simulation

Simulation results showed that a different lamp speed or a combination of fixed and moving lamps confirmed the conclusion that mobile lighting did not lead to increased production in comparison with static lighting at similar daily amounts of lamplight.

1 Inleiding

1.1 Probleemstelling

In de Nederlandse tuinbouw wordt in toenemende mate assimilatiebelichting gebruikt. Momenteel wordt op ca. 1500 ha belichting toegepast, hetgeen ca. 15% van het totale areaal is. De benodigde elektrische energie (volgens LEI rapport 3.01.07 uit 2001 ca. 34 W/m² gedurende 3000 uur/jaar= ca. 100 kWh/m².jaar) wordt deels opgewekt door TE (Total Energy) installaties waarbij de restwarmte grotendeels benut wordt voor de beheersing van het kasklimaat.

Bij een aantal snijbloemen en potplanten wordt assimilatiebelichting nu vrijwel standaard toegepast. De afgelopen jaren lijkt de introductie bij vruchtgroentegewassen tot resultaten te leiden. Qua areaal wordt hier momenteel de grootste stijging verwacht. Voor wat betreft belichtingsintensiteit is er sprake van een sterke toename in de laatste jaren: van 50 naar 120 - 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$. (n.b. één $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ komt overeen met ca. 80 lux SON-T licht). Deze toename treedt met name op bij belichting van snijbloemengewassen, bij vruchtgroenten is men direct met zeer hoge intensiteiten begonnen. In 1999 is voor het eerst een mobiele belichtingsinstallatie aangelegd waarbij de afstand van de lampen tot gewas geringer is dan bij vaste belichting (tussen de 1.2 en 1.5 m) en de lampen met een snelheid tot 52 meter per uur over het gewas bewegen. Het gewas wordt daarmee twee tot vier keer per uur intensief belicht met een maximale intensiteit die hoger is dan bij vaste belichting.

Zo blijft het aantal uur dat belicht wordt gelijk, maar gaat het lampvermogen per ha, en daarmee de input aan elektrische energie, drastisch naar beneden. Volgens de eerste ervaringen in de praktijk bij gerbera en roos zou met mobiele belichting hetzelfde teeltresultaat behaald kunnen worden als bij vaste belichting, maar dan met lagere dagelijkse lichtsommen. Op deze manier zou dus het energieverbruik kunnen dalen zonder verlies aan productie (Verbruggen, 2001). Een deugdelijk wetenschappelijk (en statistisch) verantwoorde onderbouwing van deze gegevens is echter niet voorhanden. Ook is onbekend of onder de huidige omstandigheden (lichtniveau, frequentie, duur en periode van belichting) het hoogste rendement verkregen wordt met mobiele belichting.

1.2 Doelstelling

Bepalen of de positieve effecten van kortdurende belichting groter zijn dan de effecten van continue belichting en bepalen in hoeverre de positieve effecten zijn toe te schrijven aan een effectievere assimilatie of aan andere processen. Referentie is een continu belicht gewas met vergelijkbare lichtsommen.

1.3 Aanpak

1. In een kasexperiment worden rozen geteeld onder vaste en mobiele belichting. De lampen worden zodanig opgehangen dat er een lichtgradiënt ontstaat in het gewas. Op verschillende plekken in deze gradiënt worden proefvakken uitgemeten, zodanig dat de dagelijkse lichtsommen onder vaste belichting gelijk zijn aan die onder mobiele belichting. Zo kan de veronderstelling worden getoetst dat mobiele belichting meer productie geeft dan vaste belichting bij gelijke lichtsom.
2. Om een fysiologische basis onder dit onderzoek te leggen worden fotosynthesekarakteristieken van het gewas onder beide belichtingsregimes gemeten.
3. Op basis van de metingen aan de gewasproductie en de fotosynthese wordt met behulp van een groei-model voor roos berekend wat het effect van verschillende wijzen van mobiel belichten is op de productie.

1.4 Fysiologische achtergronden

Uit de literatuur over fotosynthese onder variërend licht is gebleken dat een aantal mogelijke mechanismen de veronderstelde hogere rendementen van mobiele belichting zouden kunnen verklaren

- Efficiëntere benutting assimilatielicht. Als er gedurende langere tijd veel licht op een blad valt dan worden er in het fotosyntheseprocess veel assimilaten aangemaakt. Als de aanmaak groter is dan de afvoer van assimilaten naar de groeiende delen en de vruchten, dan gaan de chloroplasten zetmeel vormen. Als er teveel zetmeel in een chloroplast zit, dan wordt de fotosynthese geremd door negatieve terugkoppeling ('feedback'). Dit verschijnsel kan optreden bij hoge lichtintensiteiten, of bij een te geringe vraag naar suikers door b.v. een lage temperatuur of bij te weinig sinks (groei punten, vruchten) en leidt tot een lagere fotosynthese. Bij mobiel licht zouden de assimilaten kunnen worden afgevoerd in de periode dat de lamp niet op de planten schijnt.
- Een efficiëntere benutting van het daglicht. De CO₂ fixatie (de zogenaamde donkerreactie) kan na het stopzetten van de belichting nog tijdelijk doorgaan. Afhankelijk van de frequentie van belichting, de lichtsterkte en het type gewas zou dit een (gering) positief effect t.o.v. vaste assimilatiebelichting kunnen hebben (Percy en Pfitsch 1995, Lambers et al, 1998)
- Activering van huidmondjes door mobiele belichting. Door de periodieke belichting zouden huidmondjes sneller openen en sluiten, zodat de plant efficiënter kan werken.
- Door de korte intense belichting worden groei punten, bloemknoppen e.a. gedurende korte tijd opgewarmd en koelen daarna weer af door uitstraling en contact met de omgeving. Mogelijk dat hierdoor de sinkwerking toeneemt waardoor een positief effect op de uitloop van b.v. okselknoppen zou kunnen optreden.
- Combinaties van bovenstaande factoren waardoor een verminderde abortie, een veranderde drogestofverdeling, of beïnvloeding van orgaan-aanleg (bloem-, bladafplitsing) kan plaats vinden.

De lichtsituatie van rozen onder mobiele belichting (lange slag) lijkt met name in de winter (lage lichtsom daglicht) op de situatie zoals in de literatuur omschreven voor zg. 'sun fleck leaves' van planten die op de bosbodem leven: lage lichtintensiteiten met af en toe een korte periode met een hoge intensiteit wanneer de zon door een opening in het bladerdek schijnt. De lichtreactie van de fotosynthese stopt onmiddellijk wanneer de zon niet meer op het blad schijnt, maar de donkerreactie (CO₂ fixatie) gaat nog even door. Daarom is gekozen voor het meten van zowel de lichtafhankelijkheid als van de inductie (het op gang brengen van) van de fotosynthese. Met de resultaten van de lichtafhankelijkheidsmetingen kan de gewasfotosynthese en de gewasproductie worden gesimuleerd en vergeleken met de gemeten productie. Met de inductiemetingen kan informatie verkregen worden over verandering van de efficiëntie van lichtbenutting door inductie en over verhoogde efficiëntie van lichtbenutting van daglicht door aanwezigheid van mobiel licht.

1.5 Modelleren gewasgroei

Om de effecten van fotosynthesemetingen op bladniveau op te schalen naar gewasniveau wordt gebruik gemaakt van een bestaand gewasgroeimodel voor roos: 'INTKAM'. Dit model is –zeker als gebruik gemaakt wordt van de metingen die in dit onderzoek verricht worden - vrij goed in staat om fotosynthese en totale drogestofproductie van een rozen-gewas te simuleren. Het model is minder robuust voor simulatie van takgewicht (takaantal ligt in dit project vast) omdat dit voor roos nog minder goed is uitgewerkt; wel zijn rekenresultaten als indicatie bruikbaar. Op basis van de gemeten gewas- en teeltparameters wordt geëvalueerd in welke mate de effecten van mobiele belichting op bladfotosynthese, drogestofverdeling en bladstrekking leiden tot effecten op productie. Tevens kan het model gebruikt worden om in te schatten wat effecten op productie zijn van een aantal verschillende strategieën (variatie in intensiteit en frequentie van de lichtpuls) van mobiele belichting om zo optimale belichtingstrategieën te kunnen kiezen. De fotosyntheseproeven (meting + simulatie) moeten duidelijkheid verschaffen over de optimale lichtintensiteit onder een belichtingsunit (de simulaties geven alleen de lichtintensiteit op gewasniveau), de optimale snelheid van verplaatsing en de gewenste onderlinge afstand van de units (hoe vaak een lichtpuls langs komt), en over de gevolgen bij gebruik van een gemengde installatie met vaste en mobiele lampen.

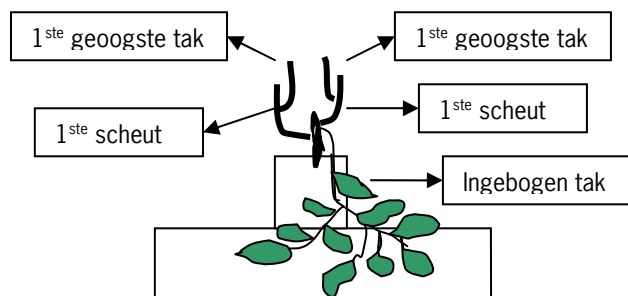
2 Materiaal en methoden

2.1 Gewas, kas en teeltsysteem

2.1.1 Gewas

In dit onderzoek is gewerkt met het gewas roos, cultivar 'First Red'. Er is gekozen voor twee verschillende manieren van gewasopbouw: 'synchroon' en 'traditioneel'. Het synchrone gewas is geteeld om te beschikken over takken van precies hetzelfde ontwikkelingsstadium. Hiervoor is gebruik gemaakt van gesynchroniseerde stekken (een gepatenteerde methode, ontwikkeld bij PPO-Glastuinbouw). Het gewas is tijdens de proef zo goed mogelijk synchroon (op snee) gehouden. Echter door plaatsverschillen binnen en tussen de kassen moest dat streven in de loop van de proef deels worden afgezwakt (zie 'gerealiseerd klimaat: 3.1). Om een beeld te krijgen van de gewasreactie van een huidig praktijkgewas zijn traditionele stekken gebruikt. Dit gewas is niet speciaal behandeld om van snee af te krijgen, dat gebeurde vanzelf gedurende de proefperiode.

De synchrone stekken zijn gemaakt in week 31 van 2003. Bij een synchrone teelt laat men na de eerste keer inbuigen twee takken ontwikkelen. Deze groeien gelijktijdig op en worden op hetzelfde moment gesneden. Op dit hout (1^e scheut) lopen meerdere ogen uit, waarvan er per scheut één wordt aangehouden. Deze vormen de volgende snee. Na elke snee laat men weer twee takken komen, welke telkens weer op bijna hetzelfde moment gesneden worden. Dit geeft een plantopbouw zoals in figuur 2.1, en een sterk gesynchroniseerd oogstverloop.



Figuur 2.1. Plantopbouw van een synchroon geteeld gewas.

De traditionele stekken zijn bij een commercieel bedrijf besteld en zijn in week 35 geleverd.

Op 28 augustus 2003 (week35) zijn in beide kassen de synchrone en traditionele stekken geplant. Voor de verdeling van het synchrone en traditionele gewas over de kas zie Figuur 2.2.

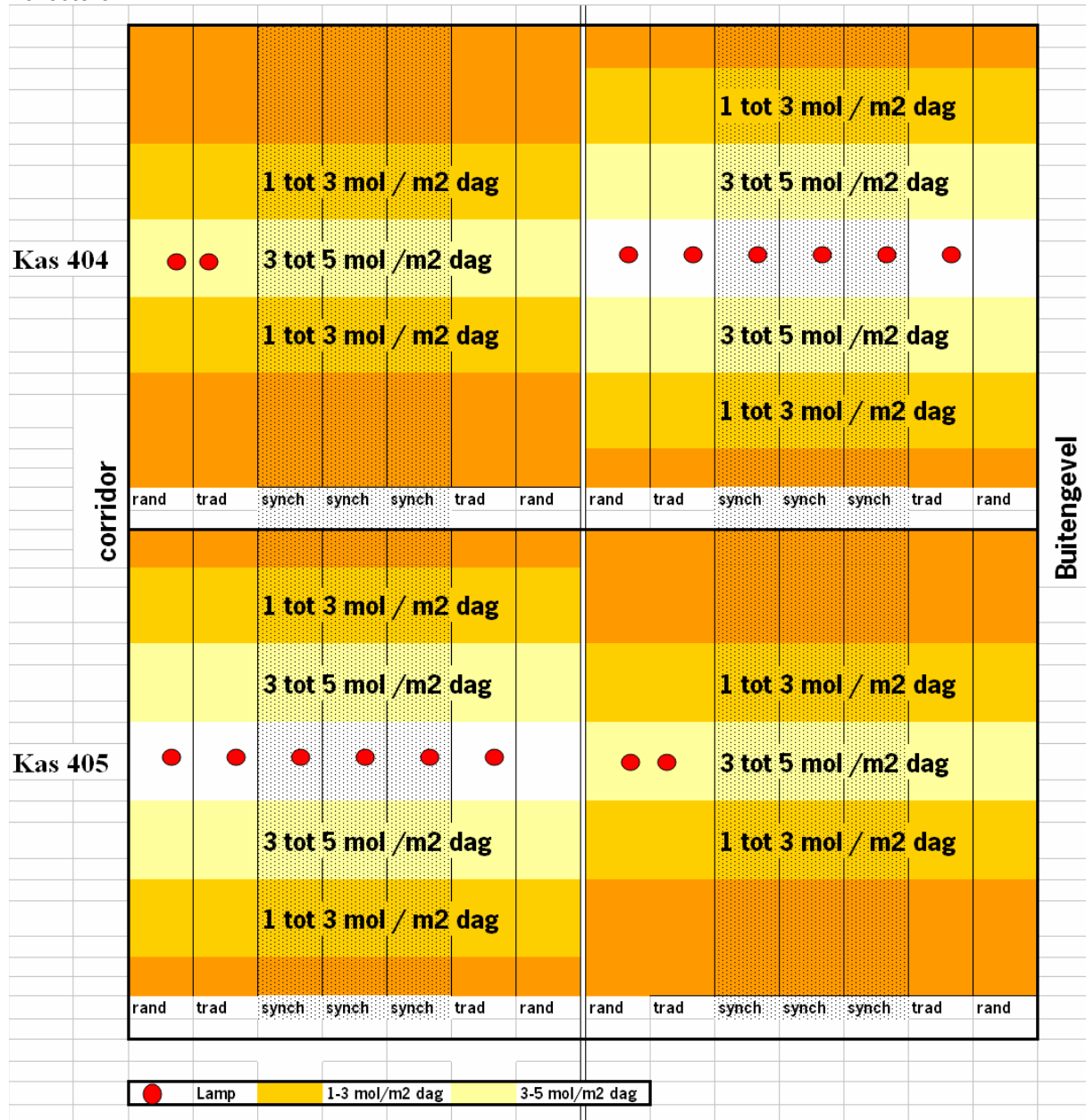
2.1.2 Kas en teeltsysteem

De proef is uitgevoerd in twee kassen van elk 300 m². In elke kas werd zowel de mobiele - als de vastlicht behandeling uitgevoerd. Omdat de kassen identiek waren wat betreft lichtval en lichtdoorlatendheid konden ze worden beschouwd als herhalingen.

Er is geteeld op rolbedden van 1.22 m breed en 10.5 m lang. Op deze bedden was een polystyreen-schuim teeltsysteem gelegd, met daarop de steenwolbroden, het geheel afgedekt door wit plastic. In dit plastic zijn gaten gesneden waarin de steenwolblokjes met beworteld stek zijn geplaatst. Elke kas bevatte 14 bedden, verdeeld over twee lichtbehandelingen

2.1.3 Licht

De lichtinstallatie voor vast en mobiel licht is door Hortilux Schröder voor deze proef in bruikleen gegeven. Er zijn Greenpower 600Watt / 400Volt lampen van Philips gebruikt in combinatie met Special Deep Reflectoren.



Figuur 2.2. Verdeling van de kunstlichtsommen (op gewashoogte) en het plantmateriaal (synchroon en traditioneel) over de twee kassen

Voor de belichtingsbehandelingen is elke kas in tweeën gedeeld (Figuur 2.2). Beide belichtingssystemen zijn in het midden van het te belichten kasdeel gehangen. Op deze wijze is direct onder de lampen een hoge lichtsom bereikt, en is er een lichtgradiënt gerealiseerd naar beide kopse einden van het teeltbed. Voor een goede lichtgradiënt waren in de kashelft met vaste belichting zes lampen nodig op 2.70 meter boven het teeltsysteem. Bij de vaste belichting loopt de intensiteit van ca 90 $\mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$ af tot ca 15 $\mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$. Bij de mobiele belichting is de lichtintensiteit direct onder de twee lampen ca 250 $\mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$., omdat hier de lampen op 1.80 meter boven het teeltsysteem hangen, verloopt de lichtgradiënt steiler. Met andere woorden: de lichtintensiteit neemt sneller af vanuit het midden naar de kop van het bed. De lange slag

mobile belichting gaat vijf maal per 120 minuten op en neer (figuur 2.3). Over de heengaande beweging werd circa 20 minuten gedaan waarna in circa 2 minuten de lamp terug bewoog naar het thuisstation om na een wacht tijd van circa 2 minuten de cyclus weer te herhalen. Dit komt neer op een loopsnelheid van 0.5 meter per minuut voor de heengaande beweging, en 5 meter per minuut voor de teruggaande beweging. De lengte van de weg die de lampen aflegden was verschillend tussen de kassen. Dit verschil werd gecompenseerd door de wachttijd per kas aan te passen. De lampen (vast/mobiel) brandden gedurende 20 uur per etmaal: van 0 uur 's nachts tot 20 uur. De donkerperiode viel dus tussen 20 en 24 uur.

Met behulp van lichtmetingen na zonsondergang is de lichtintensiteit van de belichtingsinstallaties per halve meter teeltbed vastgesteld op 50 cm boven het teeltsysteem. Met deze gegevens zijn de lichtsommen per m² per dag van het kunstlicht berekend:

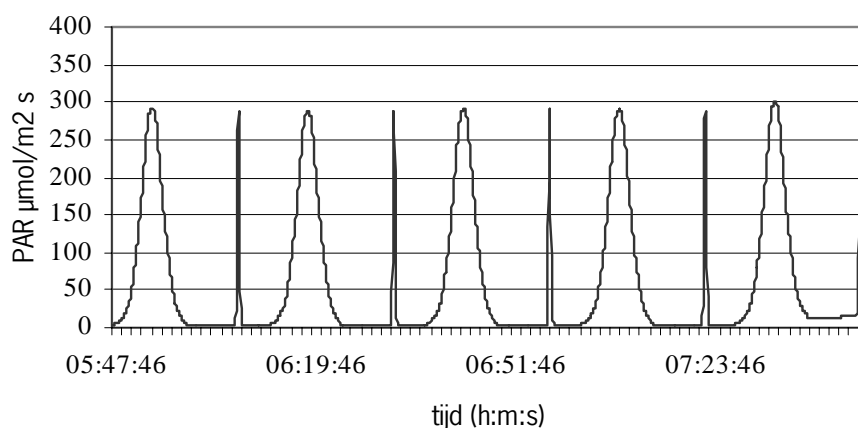
$$L_d = L * 60 * 60 * t / 1000000 = \text{mol/m}^2 \text{ dag}$$

L_d = lichtsom kunstlicht per dag

L = gemeten lichtintensiteit kunstlicht in $\mu\text{mol/m}^2 \cdot \text{s}$

t = belichtingsduur per dag in uren (in dit geval 20 uur)

Bovenstaande methode is goed uitvoerbaar voor de vaste belichting. Echter, voor het berekenen van de lichtsom van de mobiele belichting moet de precieze lichtintensiteit bij een passerende lamp worden gemeten. Hiervoor is een lichtsensor met een datalogger gebruikt. Pal onder de lampen (Figuur 2.3), maar ook op verschillende afstanden vanaf het midden is elke 4 seconden de lichtintensiteit gemeten. Door nu de lichtsom te bepalen van elke periode van 4 seconden en al deze lichtsommen van de 20 uur belichtingsperiode bij elkaar op te tellen is de lichtsom voor de mobiele belichting uit te rekenen. Vakken met gelijke kunstlichtsommen worden met dezelfde kleur aangegeven in Figuur 2.2. Op donkere dagen en altijd 's nachts is ter afscheiding een lichtdicht wit/zwart/wit plasticfolie tussen de twee kashelften dichtgetrokken.



Figuur 2.3. Lichtintensiteit van de heen en teruggaande beweging mobiele lampen gedurende 2 uur (gemeten op 29 oktober 2003).

2.1.4 Voeding, klimaatsinstellingen, gewasbescherming

Voeding

Vóór het planten is voor het nat maken van de steenwolblokken een start-voedingsoplossing gebruikt (tabel 2.1). Daarna is gedurende de eerste 8 weken voedingsoplossing '8w' gebruikt waarna is overgestapt op de standaard voedingsoplossing voor rozen. Tijdens de teelt is een gemiddelde pH van 6.65 en een EC van 2.00 mS/cm gerealiseerd. Elke 14 dagen werd een monster geanalyseerd, en de dosering van de afzonderlijke elementen eventueel aangepast.

In Tabel 2.1 staat een overzicht van de gebruikte voedingsoplossingen.

Tabel 2.1 - Samenstelling voedingsoplossing tijdens de teelt

Element macro				Element micro			
Voeding	mmol/l start	8w	standaard	micro	µmol/l start	8w	standaard
NO ₃	9.80	10.60	10.60	Fe	35	30	30
P	0.70	1.25	1.25	B	10	17	17
NH ₄	0.40	1.65	1.60	Mn	5	6	6
K ⁺	3.40	4.40	5.65	Zn	3.5	4.0	3.0
Ca ⁺⁺	3.40	2.65	2.05	Cu	1.5	1.0	1.0
Mg ⁺⁺	2.20	1.50	1.50	Mo	1.0	0.7	0.7
SO ₄ ⁻	2.25	1.25	1.25				
pH	5.2	5.2	5.2				
EC	1.7	1.6	1.6				

Klimaatsinstellingen

Tijdens de teelt is een dag/nacht temperatuur gehandhaafd van 20/20 °C. Met gesloten ramen is er gestreefd naar een CO₂-concentratie van 700 ppm. De luchtbevochtigingsinstallatie schakelde in het begin van de teelt aan bij een instraling van 150 W, om te koelen, na 6 weken is de luchtbevochtigingsinstallatie uit gezet.

Gewasbescherming

De gewasbescherming is overwegend biologisch uitgevoerd. Een enkele maal is er chemisch ingegrepen tegen witte vlieg en spint.

2.1.5 Waarnemingen productie, klimaat, bladtemperatuur en houdbaarheid

Productie

In het traditionele gewas werden de eerste bloemen gesneden vanaf week 46 in 2003. In diezelfde week werden de synchrone rozen op snee gezet voor de eerste oogst. Deze werden geoogst vanaf week 50. Per proefveldje werd het aantal takken en het totaal versgewicht van takken vastgelegd. Vanaf 4 februari 2004 werd in plaats van het totaal takgewicht elke tak afzonderlijk gewogen en werd ook de taklengte per tak bepaald.

Klimaatregistratie

Ook de klimaatgegevens zijn vastgelegd:

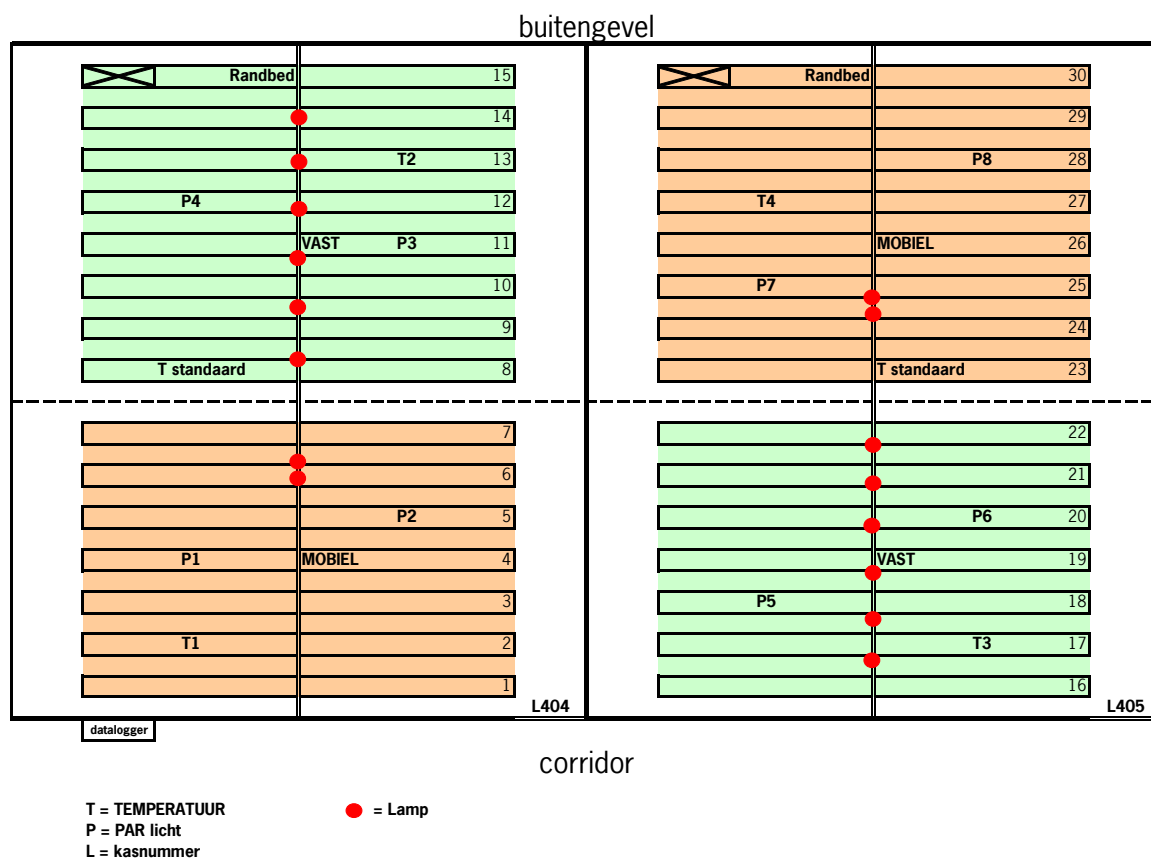
- Temperatuur, relatieve luchtvochtigheid en CO₂ met Humitter 50Y (Vaisala, Helsinki, Finland)
- Extra temperatuur meting per kashelft, omdat 's nachts een scherm werd dichtgetrokken tussen de behandelingen, en dit kon leiden tot temperatuurverschillen
- Lichtintensiteit met PAR-sensoren van Li – 190sZ (LI – COR, Nebraska, USA), vier meters per kas

Figuur 2.4 laat zien waar in de kas de verschillende sensoren stonden opgesteld (let op, dit schema is gekanteld t.o.v. figuur 2.2).

Verder zijn de buitentemperatuur op 1 meter hoogte en de globale straling buiten vastgelegd.

Extra waarnemingen nodig voor het model

- Lichtintensiteit: Gedurende de teelt en in verschillende snij-stadia zijn lichtintensiteit metingen gedaan.
- Aantal en gewicht van pluizen en loze takken in de synchrone teelt.
- Bladoppervlak aan het einde van de teelt van staande takken en het uitgebogen bladpakket, met een bladoppervlaktemeter van Area-metersystem (Delta –T).
- Drooggewichten aan het einde van de teelt van: knop, bladeren en steel van takken, en bladeren en stelen van liggend pakket.



Figuur 2.4. Posities van de meetsensoren in de kassen

Bladtemperatuur

In week 51 van 2003 en de weken 7 en 14 van 2004 is gekeken naar het effect van mobiele belichting op de bladtemperatuur. Hierbij is gebruik gemaakt van infrarood sensoren van Heimann (KT 19; meetvenster 8 tot 12 μm ; resolutie van 0.1 $^{\circ}\text{C}$). De camera's werden op 0.5 tot 1 m van het te meten blad geplaatst op een statief. Hierbij moest goed in de gaten worden gehouden dat de infrarood sensor niet tussen het te meten blad en de lamp stond. Tijdens de voornoemde weken is met deze camera's op een aantal dagen vóór zonsopgang de bladtemperatuur gevolgd. Om de 4 seconden werd een meting verricht. Tegelijkertijd met de bladtemperatuurmeting werd een PAR-meting gedaan, om na te gaan of de temperatuurveranderingen synchroon liepen met de PAR-veranderingen.

Houdbaarheid

In februari 2004 zijn de verschillende behandelingen ook op houdbaarheid getoetst. De takken zijn na de oogst op water in de koelcel gezet tot de volgende dag. Vervolgens zijn ze in de vaas gezet, één tak per vaas. Dagelijks werd waargenomen op uitbloei. Redenen voor afschrijven kunnen zijn: bloemverkleuring, bloem slap, blad verdroogd, bent-neck, *botrytis* of uitbloei.

2.2 Fotosynthesemetingen

In de voorbereiding voor de metingen in de eerste snee zijn in september 2003 de meetprotocollen voor de fotosynthese- en de fluorescentiemetingen opgesteld en uitgetest met de ADC en de Licor fotosynthesemeters. Hiervoor werden metingen gedaan aan snijroos (First Red) in potten. Er werd gemeten aan groene, goed volgroeide vijfbladen aan opgaande stengels die bijna oogstrijp waren. Met een protocol bestaande uit 8 lichtstappen zou met 5 planten voldoende nauwkeurigheid bereikt kunnen worden om de, naar verwachting, kleine verschillen in fotosynthese te kunnen detecteren.

2.2.1 Keuze blad

De keuze van het blad is bepaald door de volgende eisen:

- Volledig ontwikkeld en uitgegroeid
- Aanwezig in de diverse fases van de teelt
- Gedurende een groot deel van de teeltfase direct aan assimilatielicht en zonlicht blootgesteld
- Bereikbaar voor de fotosynthese- en fluorescentiemeters
- Niet grenzend aan pad (mogelijke schade door werkzaamheden)
- Als extra eis is gesteld dat het blad donkergroen, onbeschadigd, schoon en ziektevrij moet zijn.

Ingebogen takken

Gedurende de eerste weken van een snee zijn er nog geen opgaande takken en moeten de ingebogen takken door middel van fotosynthese zorgen dat de opgaande takken van voldoende energie en bouwstenen worden voorzien om te kunnen groeien. Daarom is besloten in de eerste weken van de snee te meten aan een goed vijfblad van een ingebogen tak.

Opgaande takken

In de latere fase van de snee, wanneer er goed ontwikkelde opgaande stengels zijn, is gemeten aan het onderste goede vijfblad.

2.2.2 Aanpassingen voor meten in rolbedsysteem

In initiële tests in het begin van het project bleek dat de gekozen vijfbladeren met de bestaande statieven slecht te bereiken waren. Enerzijds door de beperkte ruimte tussen de rolbedden en anderzijds door de grote afstand tussen het pad en het midden van het rolbed. Daarom zijn voor de ADC en voor de Licor fotosynthesemeters statieven gebouwd die gemakkelijk te hanteren zijn tussen de rolbedden en met een aanzienlijk groter horizontaal bereik. In figuur 2.5 staat een foto met de Licor fotosynthesemeter op het nieuwe statief tijdens één van de meetsessies.

Aan het begin van een snee is het te meten blad volledig aan het (assimilatie)licht blootgesteld. Na de opkomst van opgaande takken bevinden de ingebogen takken zich in de schaduw van de opgaande takken.



Figuur 2.5 De Licor LI6400 fotosynthesemeter tijdens een meting. Met het nieuwe statief zijn nu ook de bladeren midden op het rolbed goed bereikbaar.

2.2.3 Gaswisselingsmetingen

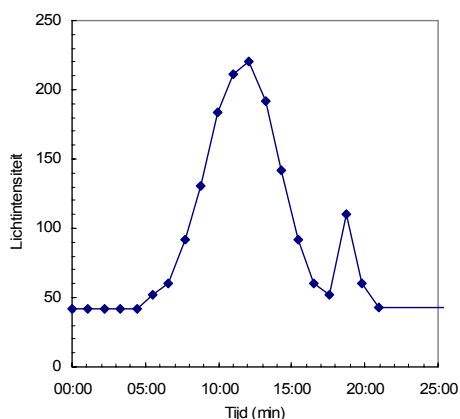
De metingen zijn uitgevoerd met twee draagbare fotosynthesemeters, de ADC LCpro en de Licor LI-6400. Beide meters zijn gedurende het project gekalibreerd door de leverancier. Om kleine instrumentele verschillen te minimaliseren is voor de vergelijking van de fotosynthese onder mobiel licht en onder vast licht mobiel binnen één kascompartiment één fotosynthesemeter gebruikt. De meetomstandigheden in het cuvet zijn zoveel mogelijk gelijk gemaakt aan die in de kas. De relatieve luchtvochtigheid van de ingaande lucht moest echter handmatig ingesteld worden en daardoor waren er kleine verschillen in RV tussen de verschillende metingen.

Meting lichtafhankelijkheid fotosynthese

Om de maximale lichtbenuttingsefficiëntie en de maximale fotosynthesecapaciteit te bepalen zijn zgn. 'lichtrespons' metingen gedaan. Hierin wordt de lichtintensiteit opgelegd en na een bepaalde tijd de fotosynthese gemeten. Dat proces wordt uitgevoerd bij verschillende lichtintensiteiten. In snee 1 is gebruik gemaakt van 8 lichtstappen en is aan 5 planten per behandeling gemeten. Om een beter beeld te krijgen van de variatie binnen de behandeling is in snedes 2 en 3 overgeschakeld op een protocol van 5 lichtstappen en 7 planten per behandeling. De metingen begonnen altijd met de hoogste lichtintensiteit.

Meting inductie fotosynthese

De snelheid waarmee de fotosynthese van het blad reageert op veranderingen in lichtintensiteit ten gevolge van mobiele belichting is gemeten door het blad in het bladcuve met een gesimuleerde lichtpuls te belichten en de fotosynthese te meten. Het verloop van de lichtintensiteit van de mobiele belichting is om de minuut gemeten met de lichtsensor van de Mini-PAM. Per meetdag werd een schatting gemaakt van de gemiddelde intensiteit van het daglicht en deze werd bij de meetwaarden van de Mini-PAM opgeteld en de gecorrigeerde intensiteiten en de tijden werden ingevoerd in het meetprogramma van de Licor LI6400. In figuur 2.6 staat het verloop van de lichtintensiteit zoals gebruikt tijdens de meting van 18 december tijdens snee 1. De grote piek in intensiteit wordt veroorzaakt door het langzaam overkomen van de mobiele lamp gedurende de heenweg. De korte piek aan het eind is afkomstig van het snelle terugkeren van de lamp naar de parkeerstand. Deze meting is tamelijk dicht bij het keerpunt uitgevoerd, daarom is de korte piek snel na de brede piek te zien.



Figuur 2.6. Gesimuleerde belichting voor de meting van de inductie van de fotosynthese. De intensiteit werd in de fotosynthesecuvet gerealiseerd met rode en blauwe LED verlichting (90% rood/10% blauw).

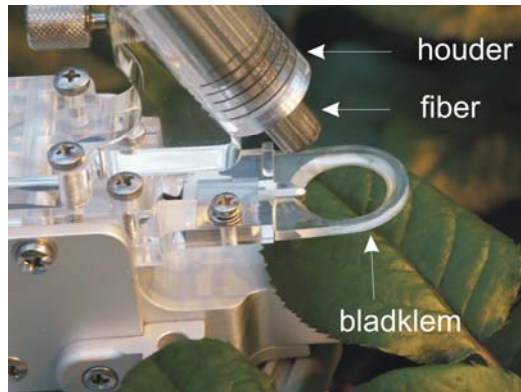
2.2.4 Chlorofyl fluorescentie

Meting lichtafhankelijkheid en inductie van de fotosynthese

Tijdens het meten van de lichtafhankelijkheid en de inductie van de fotosynthese is tegelijkertijd ook de efficiëntie van de fotosynthese gemeten met de Licor fluorometer, een uitbreidingsoptie bij de Licor LI6400. Uit vergelijking van de fotosynthese en de fluorescentie metingen is een omrekening van de resultaten van de monitoringsexperimenten met de Mini-PAM en de PAM-2000 naar eenheden fotosynthese mogelijk.

Monitoring dagelijks verloop lichtbenutting (efficiëntie) fotosynthese

De efficiëntie van de fotosynthese is gedurende een groot deel van de dag gemeten met behulp van twee nagenoeg identieke fluorimeters, de Walz Mini-PAM Chlorophyll Fluorometer en de PAM-2000 Chlorophyll fluorometer. De meetkoppen van de twee fluorimeters zijn identiek, de verschillen betreffen de uitvoering van de bediening. In geval van de Mini-PAM gaat het om een draagbare versie met een ingebouwd keyboard terwijl de PAM-2000 wordt bediend met een kleine Palmtop PC (HP 200LX).



Figuur 2.7 Detailfoto van de meetkop van de chlorofylfluorescentiemeter.

De meetkop bestaat uit een houder voor de optische fiber voor de fluorometer en een klem waarin het blad vastgehouden wordt. De bladklem is zodanig geconstrueerd dat zowel aan de onder- als aan de bovenzijde van het blad voldoende ruimte is voor aan- en afvoer van lucht. Aan de bovenzijde is de meetkop open. Er treedt een zekere beschaduwing op voor daglicht, maar de meetkop werd altijd zodanig opgesteld dat assimilatielicht niet werd afgeschermd door de optische fiber (in de foto komt het assimilatielicht van rechts).

Met de twee fluorimeters kan per meetdag telkens één blad van het gewas onder mobiele belichting vergeleken worden met één blad onder vaste belichting. Door de metingen op verschillende dagen te herhalen kan de variatie binnen het gewas geschat worden.

2.3 Modelling

2.3.1 Model

Het INTKAM rozenmodel berekent op dagelijkse basis de gewasgroei en –ontwikkeling van een rozen­gewas. Er wordt vanuit gegaan dat er geen groeibeperkingen optreden als gevolg van tekorten aan nutriënten, water of door de aanwezigheid van ziekten en plagen. Met behulp van opgevangen stralingsenergie afkomstig van de zon en assimilatiebelichting wordt CO₂ omgezet in assimilaten. Na aftrek van de onderhoudsademhaling worden de assimilaten verdeeld over het liggende pakket en de rechtopstaande (oogstbare) takken. Binnen het liggende pakket worden de assimilaten verdeeld over wortels, stengels en bladeren, terwijl binnen de takken de assimilaten worden verdeeld over stengels, bladeren en bloemknoppen. Op basis van het bladgewicht en het specifieke bladoppervlak (specific leaf area, SLA, het aantal vierkante meters blad dat in een gram drooggewicht gaat, m² g⁻¹) wordt de bladbedekkingsgraad (leaf area index, LAI, m² bladoppervlak m².bodemoppervlak) berekend. Op basis van temperatuursommen wordt de takontwikkeling en het oogstmoment van de tak berekend.

In dit project is zowel een niet-synchrone teelt als een synchrone teelt uitgevoerd. De fotosynthesemetingen en de simulaties betreffen alleen de synchrone teelt. Hierbij is alleen het moment van terugknippen voor de eerste snee aangegeven, en wordt de verdere takontwikkeling gesimuleerd.

In het geval van vaste belichting is er ieder uur een berekening van de fotosynthese gemaakt. De ervaring leert dat dit voldoende is om het verloop over de dag te simuleren. In het geval van mobiele belichting is

iedere minuut een berekening uitgevoerd om ervoor te zorgen dat het passeren van de lamp over de plant goed te volgen is.

Er is gebruik gemaakt van waargenomen fotosynthesekarakteristieken (zie paragraaf 2.2.3.).

Daarnaast is het model gevoed met de specificaties van de vaste of mobiele assimilatiebelichting, waarvoor speciale routines zijn ontwikkeld. Deze routines bieden tevens de mogelijkheid om scenariostudies uit te voeren waarbij variatie wordt aangebracht in het niveau van de assimilatiebelichting, de loopsnelheid van de lamp en de lengte van het looptraject van de lamp.

Gebruik van waarnemingen

Het model maakt gebruik van vier soorten waarnemingen:

- klimaatgegevens
- fotosynthesegegevens
- teeltgegevens
- aanvullende gewasgegevens

Klimaat

De kassen 404 en 405 zijn ingericht als twee herhalingen van dezelfde behandelingen. Maar omdat de klimaten niet voldoende overeenstemden (zie 3.1: 'Gerealiseerd klimaat') is besloten om de behandelingen per kascompartiment uit te werken en na te rekenen. In Bijlage 4 worden daggemiddelden gegeven van een aantal klimaateigenschappen van kascompartiment 404.

Het gewasgroeimodel maakt gebruik van de volgende klimaatgegevens:

1. Globale straling buiten ($\text{J m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
2. Buitentemperatuur ($^{\circ}\text{C}$)
3. Luchttemperatuur in de kas ($^{\circ}\text{C}$)
4. Temperatuur van de onderbuis ($^{\circ}\text{C}$)
5. CO_2 concentratie van de kaslucht (ppm)
6. Dampdruktekort (vapour pressure deficit) van de kaslucht (kPa)
7. Sluiting van het energiescherm (%)
8. Straling van assimilatielampen ($\text{J m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

Belichting

De straling van de assimilatielampen kan per behandeling worden gedefinieerd door de volgende specificaties aan het model op te geven:

1. Vermogen van de assimilatiebelichting ($\mu\text{mol PAR m}^{-2} \text{s}^{-1}$, waarbij PAR = Photosynthetically Active Radiation = fotosynthetisch actieve straling = lichtintensiteit op plantniveau)
2. Moment van aanzetten van de belichting (minuten na middernacht)
3. Moment van uitzetten van de belichting (minuten na middernacht)
4. Lengte van het traject dat de lamp over het gewas beweegt (m)
5. Snelheid waarmee de lamp zich over het gewas beweegt (m s^{-1})
6. Snelheid waarmee de lamp over het gewas terug beweegt (m s^{-1})
7. Duur van de periode waarin de lamp in de behuizing blijft voor een nieuwe bewegingscyclus wordt gestart (min).
8. Relatieve lichtsterkte, de kleiner dan 1 is naarmate de plant zich verder van het traject van de lamp bevindt.

Het vermogen van de lamp (specificatie 1) is gedefinieerd als het lichtniveau op gewasniveau recht onder de lampen. Op deze locatie wordt het relatieve lichtniveau op 1 gesteld (specificatie 8). Zoals in Figuur 2.2 is aangegeven, is in het geval van mobiele belichting gekozen voor het analyseren van de groei van de planten recht onder de lampen (relatieve lichtsterkte = 1) en van planten iets naar de zijkant (relatieve lichtsterkte = 0.42 tot 0.43). Deze twee locaties voor mobiele belichting komen qua dagelijks ontvangen straling overeen met twee locaties voor vaste belichting die beide iets bezijden de lampen liggen en worden gekenmerkt door relatieve lichtsterktes van ongeveer 0.7 en 0.46.

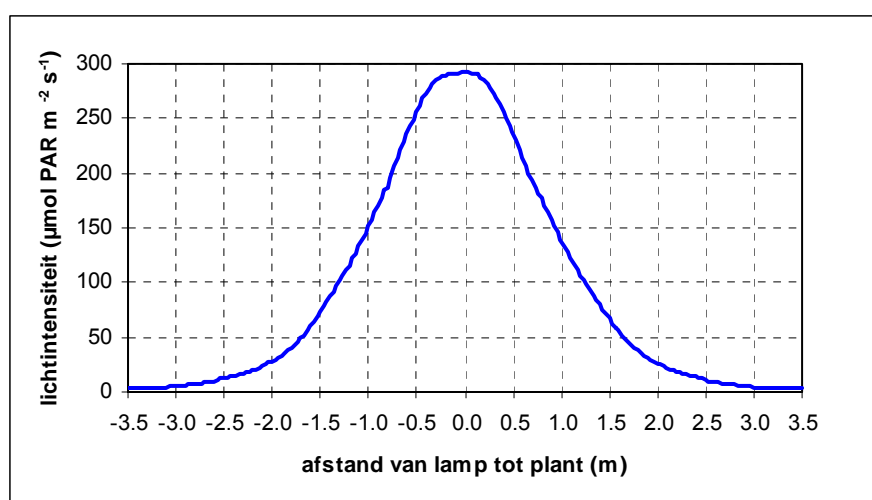
Uit Figuur 2.2 kan worden afgeleid dat het lage en hoge lichtniveau respectievelijk 0.89 en 1.78 MJ m² d⁻¹ zouden moeten bedragen. Als de dagelijkse lichtsommen met het model worden uitgerekend (Tabel 2.2), blijkt dat deze redelijk overeenstemmen met de uit Figuur 2.2 afgeleide waarden (gemeten waarden). Afwijkingen kunnen worden toegeschreven aan onzuiverheden in de meetprocedure.

De momenten van aan- en uitzetten van de belichting (specificaties 2 en 3) werden gedefinieerd als respectievelijk 0 en 1200 minuten na middernacht (dus om respectievelijk 0 en 20 uur; zie hoofdstuk 2.2)

Specificaties 4 t/m 7 gelden alleen voor mobiele belichting.

Tabel 2.2 Overzicht van belichtingsspecificaties. Onder stralingsniveau (laatste kolom) wordt verstaan de dagelijkse hoeveelheid totale straling ter hoogte van de bovenkant van het gewas. Het vermogen van de lamp op het meetpunt is in veel gevallen lager dan het vermogen recht onder de lamp, omdat het meetpunt zich iets bezijden de lamp bevindt. Zie ook hoofdstuk 2.2.

Kas	Mobiel/ Vast	Hoog / laag	Vermogen lamp		Relatief ver- mogen lamp (-)	Lengte traject (m)	Snelheid heen (m min ⁻¹)	Snelheid terug (m min ⁻¹)	Duur in behuizing (min)	Dagelijkse straling (op meetpunt) (MJ m ² d ⁻¹)
			(recht onder de lamp) ($\mu\text{mol PAR m}^{-2}$ s ⁻¹)	(op meet- punt) ($\mu\text{mol PAR m}^{-2}$ s ⁻¹)						
404	Vast	Hoog	79	58	0.74	-	-	-	-	1.84
		Laag	79	36	0.45	-	-	-	-	1.16
	Mobiel	Hoog	292	292	1.00	9.25	0.5	5.0	3.617	2.01
		Laag	292	126	0.43	9.25	0.5	5.0	3.617	0.87
405	Vast	Hoog	84	56	0.66	-	-	-	-	1.77
		Laag	84	39	0.46	-	-	-	-	1.23
	Mobiel	Hoog	292	292	1.00	10.2	0.5	5.0	1.55	2.04
		Laag	292	123	0.42	10.2	0.5	5.0	1.55	0.85



Figuur 2.8. De lichtintensiteit van de mobiele belichting op gewasniveau in relatie tot de afstand tussen lamp en plant.

Naarmate de plant zich verder van de mobiele lichtbron af bevindt, neemt de lichtintensiteit af. Dit is weergegeven in figuur 2.8, welke is afgeleid van gedetailleerde metingen waar figuur 2.2 op is gebaseerd. Het blijkt dat de metingen voor kas 404 en 405 sterk met elkaar overeenkomen. Het verband tussen de afstand van plant tot lamp en de absolute lichtintensiteit is in het model opgenomen als een lineaire afname tussen 0.5 en 3 m van 250 tot 0 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Dit verband is geldig recht onder het looptraject van de lamp. Als de te analyseren planten zich niet recht onder het looptraject van de lamp bevonden, is er een op metingen gebaseerde relatieve afname van de lichtsterkte toegepast.

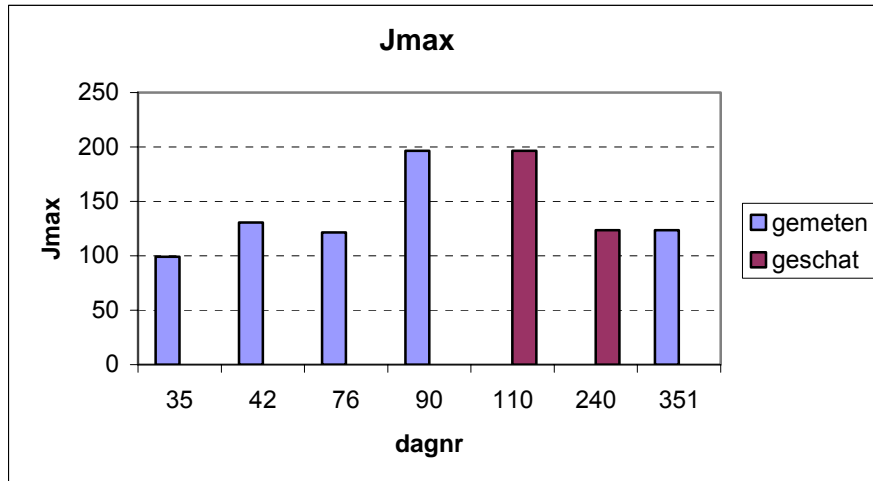
Fotosynthesegegevens

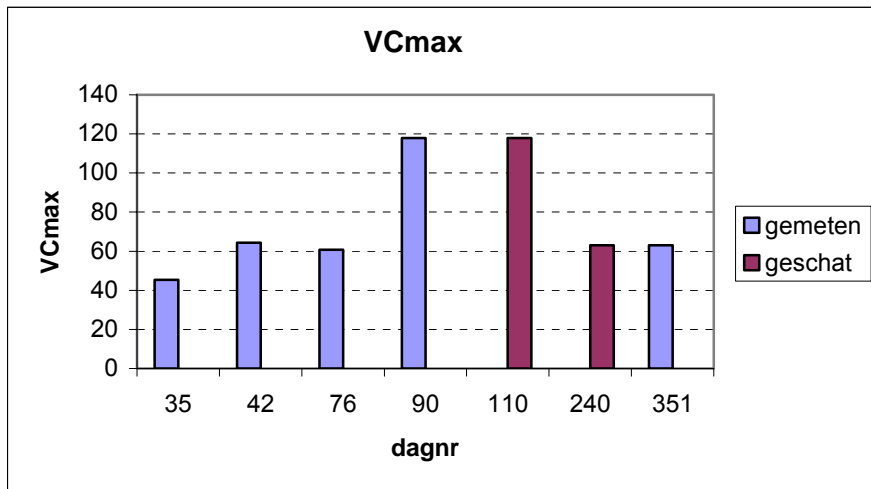
De fotosynthesemetingen hebben geresulteerd in CO_2 -uitwisselingsnelheden bij verschillende lichtniveaus voor zowel het liggende bladpakket als de rechtopstaande takken. Hiermee kunnen zogenaamde CO_2 -lichtresponscurven worden beschreven. Het rozenmodel maakt echter gebruik van een biochemische beschrijving van de fotosynthese (Farquhar et al., 1980), zodat de parameters die de CO_2 -lichtresponscurve beschrijven moesten worden omgezet in parameters die de Farquhar-curve beschrijven. Dit betreft vier parameters, waarvan de belangrijkste twee zijn:

J_{max} : de maximale snelheid van electronentransport bij 25 °C ($\mu\text{mol electronen m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

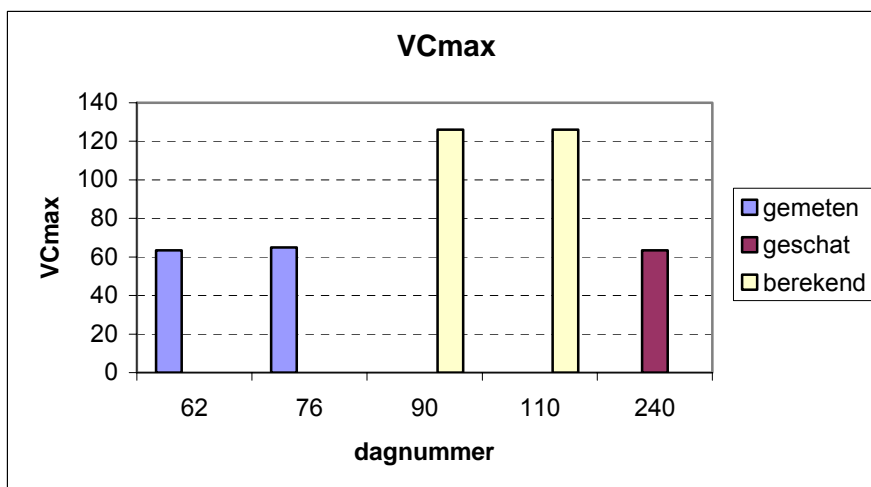
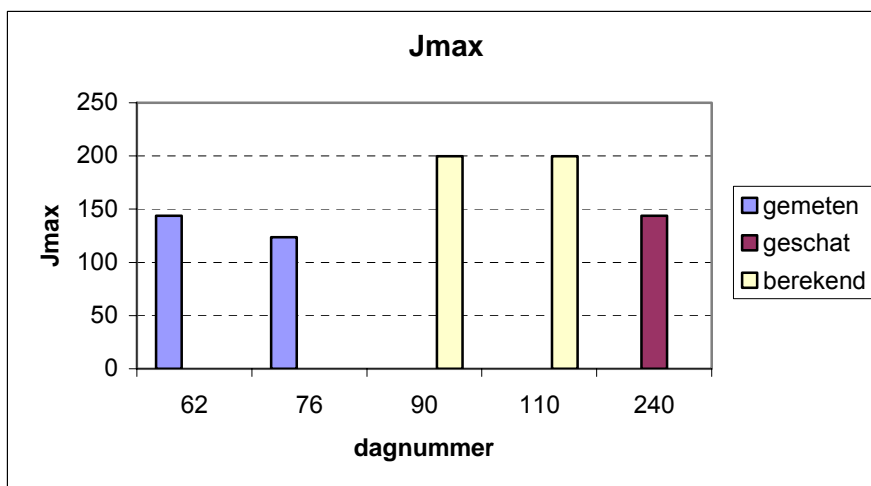
VC_{max} : de maximale carboxylatiesnelheid bij 25 °C ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

Er zijn uiteraard niet gedurende de hele teelt fotosynthese-metingen uitgevoerd, maar op een aantal representatieve momenten tijdens de drie sneden. Het model heeft wel op alle dagen van de te simuleren periode informatie nodig. Er zijn dus extrapolaties van de meetgegevens gemaakt. Aanvullende data zijn verkregen door schattingen (d.w.z. het aannemen van een op een andere datum gemeten waarde) en berekeningen (d.w.z. het combineren van verhoudingen tussen bladpakketten). Voor wat betreft de opgaande takken vertonen de waarden van J_{max} en VC_{max} een stijging met een stijging van de globale buitenstraling. Dit verband is ook bekend van bijvoorbeeld tomaat.





Figuur 2.9. De fotosynthese karakteristieken J_{max} en V_{cmax} van de opgaande takken. Zie voor uitleg de tekst.



Figuur 2.10 De fotosynthese karakteristieken J_{max} en V_{cmax} van het liggende bladpakket. Zie voor uitleg de tekst.

Andere teelt- en gewaseigenschappen

Het INTKAM rozenmodel is verder gevoed met een aantal teelt- en gewaseigenschappen:

- Er is een lichtdoorlatendheid van het kasdek van 50% aangenomen, n.a.v. metingen in een zelfde kas.
- De lichtdoorlatendheid van het energiescherm bedroeg 45%.
- Voor de eerste synchrone snee werd op dag 314 teruggeknipt.
- Het gemiddeld aantal takken per plant dat werd aangehouden, werd ook gebruikt in de simulaties. Uit de oogstgegevens blijkt overigens dat dit aantal in de praktijk niet steeds exact gelijk was aan twee (veroorzaakt door breken van takken of doordat er soms meer dan twee scheuten per plant ontwikkelden). Er werd geen rekening gehouden met variatie in aantal takken tussen verschillende snedes binnen een bepaalde behandeling.
- De plantdichtheid bedroeg 5.48 planten per bruto m². Dit wil zeggen, inclusief de padbreedte.
- Het rozengekas werd geteeld op rolbedden die zich ongeveer 30 cm boven de grond bevonden, en zich op gemiddeld 24 cm afstand van elkaar bevonden. Na verloop van tijd bleek dat liggende takken diep naar beneden tussen de bedden zakten. Het bleek niet goed praktisch uitvoerbaar om de lichtonderschepping door het gewas op diverse diepten te meten, en zeker niet onder de takken tussen de bedden. Wel is het aannemelijk dat er hier een zekere beschaduwing door de bedden heeft opgetreden. Maar omdat de lichtintensiteit en gerealiseerde fotosynthese onder in het gewas erg laag is, is hier verder geen rekening mee gehouden.
- Het specifieke bladoppervlak (Specific Leaf Area, SLA) van het liggende bladpakket is voor alle behandelingen op een vaste waarde van 0.0157 m² g⁻¹ gesteld, en dat voor de opgaande takken op 0.0171 m² g⁻¹.

Narekenen experimenten

De combinatie van experimenten en narekenen met het simulatiemodel diende om te evalueren in welke mate effecten van mobiele belichting op bladfotosynthese, drogestofverdeling en bladstrekking leiden tot effecten op productie. In hoofdstuk 3 wordt aangetoond dat er geen effecten zijn op bladfotosynthese en bladstrekking, zodat alleen de effecten op drogestofverdeling resteren. Dit effect op drogestofverdeling is vertaald naar het gewicht van de oogstbare takken.

Alle behandelingen zoals weergegeven in tabel 2.2 zijn nagerekend. Er is met name gekeken naar de simulatie van:

- de hoeveelheid door het gewas onderschepte fotosynthetisch actieve straling
- de totale drogestofproductie
- het stengelgewicht
- de ontwikkeling van de stengels

Scenariostudies

Het model is gebruikt om in te schatten wat de effecten op productie zijn van een aantal verschillende strategieën (variatie in intensiteit en frequentie van de lichtpulsen) van mobiele belichting om zo optimale belichtingstrategieën te kunnen kiezen.

Bij deze scenariostudies is uitgegaan van compartiment 404. Er zijn geen berekeningen gebaseerd op compartiment 405, aangezien er geen principiële verschil bestond tussen de twee compartimenten.

Er is variatie aangebracht in het vermogen van de assimilatiebelichting, in de loopsnelheid van de lamp, en in de lengte van het looptraject.

Variatie in lichtintensiteit van de assimilatiebelichting: Om vergelijking met de experimenten mogelijk te houden, is uitgegaan van zowel de hoge als lage lichtintensiteit op gewasniveau. Er is gerekend met de in Tabel 2.3 gegeven waarden.

Tabel 2.3. Overzicht van de belichtingsniveaus waarmee in de scenariostudies is gerekend.

Vast / mobiel	Maximaal niveau van PAR op gewasniveau		Maximaal lampvermogen op gewasniveau (W m ⁻²) ²	Omschrijving
	($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	(W m ⁻²) ¹		
Vast	116.2	25.8	103	<i>twee maal het hoge lichtniveau in het experiment</i>
Vast	58.1	12.9	52	<i>het hoge lichtniveau in het experiment</i>
Vast	35.7	7.9	32	<i>het lage lichtniveau in het experiment</i>
Mobiel	584	129.8	519	<i>twee maal het mobiele lichtniveau in het experiment</i>
Mobiel	292	64.9	260	<i>het hoge lichtniveau in het experiment</i>
Mobiel	125.6	27.9	112	<i>het lage lichtniveau in het experiment</i>
Mobiel	62.8	14.0	56	<i>de helft van het lage lichtniveau in het experiment</i>

1: $1 \text{ W m}^{-2} = 4.5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

2: er wordt aangenomen dat de straling van de belichting voor een kwart uit PAR bestaat, voor een kwart uit ander licht, en voor de helft uit warmtestraling.

Het feit dat hier sprake is van lichtintensiteit op gewasniveau is een belangrijke kanttekening. Afhankelijk van de hoogte van de lampen, en het aantal lampen per m² resulteert dit in een werkelijk lampvermogen per m². Het is daarnaast belangrijk om onderscheid te maken tussen de momentane lichtintensiteit op gewasniveau, en de straling die *per dag* op gewasniveau aanwezig is. In het geval van vaste belichting is het vermogen op gewasniveau tijdens de belichtingsperiode constant. De dagelijkse straling wordt verkregen door de lichtintensiteit te vermenigvuldigen met de tijd. In het geval van mobiele belichting geldt het maximale vermogen op het moment dat de mobiele lamp recht boven de plant hangt. Even eerder en later is het vermogen iets lager, omdat de lamp zich op een zekere afstand van de plant bevindt. De dagelijkse straling wordt verkregen door de wisselende lichtintensiteiten over de tijd te integreren. Deze rekenresultaten staan in tabel 2.2. In hoofdstuk 2.1.3. wordt uitgelegd hoe de lichtsom van het mobiele licht is berekend.

Variatie in de loopsnelheid van de lamp: Hierbij is uitgegaan van de loopsnelheid in compartiment 404 (0.5 m min⁻¹), welke is gehalveerd en verdubbeld.

Variatie in de lengte van het looptraject: Hierbij is uitgegaan van de lengte in compartiment 404 (9.25 m), welke is gehalveerd en verdubbeld.

Er wordt gerekend met 1.9 takken per plant, wat het gemiddelde was over alle experimentele behandelingen.

Tabel 2.4. Overzicht van de gesimuleerde scenarios (enkele komen meerdere malen voor, om systematische vergelijking eenvoudiger te maken). Voor een nadere verklaring van de diverse scenarios wordt verwezen naar de tekst.

Nummer scenario	Vast / mobiel	Max. stralings-intensiteit op gewasniveau (W m ²)	Relatieve snelheid	Relatieve lengte traject	Omschrijving
Variatie in vermogen					
15 (exp)	Vast	32	-	-	Laag lampvermogen
14 (exp)	Vast	52	-	-	Hoog lampvermogen
1	Vast	103	-	-	Dubbel lampvermogen
7 (exp.)	Mobiel	112	1	1	Laag lampvermogen
10 (exp.)	Mobiel	260	1	1	Hoog lampvermogen
2	Mobiel	519	1	1	Dubbel lampvermogen
Variatie in loopsnelheid					
3	Mobiel	260	2	1	Dubbele loopsnelheid lamp
4 (exp.)	mobiel	260	1	1	Normale loopsnelheid lamp
5	Mobiel	260	0.5	1	Halve loopsnelheid lamp
Variatie in loopsnelheid bij half vermogen					
6	Mobiel	112	2	1	dubbele loopsnelheid lamp
7 (exp.)	Mobiel	112	1	1	half normale loopsnelheid lamp
8	Mobiel	112	0.5	1	half vermogen halve loopsnelheid lamp
Dubbel stralingsniveau en snelheid					
9	Mobiel	519	2	1	Dubbele vermogen, dubbele loopsnelheid lamp
Verkorting traject en afname vermogen					
10 (exp.)	Mobiel	260	1	1	Standaard: experiment
11	Mobiel	112	1	0.5	Half lampvermogen, halve lengte traject
12	Mobiel	56	1	0.25	Kwart lampvermogen, kwart lengte traject
Combinatie van vast en mobiel					
13	Mobiel	112	0.5	0.5	Half lampvermogen, halve snelheid, half traject
17	Mobiel	112	1	0.5	Mobiel: half vermogen, half traject. Gecombineerd met vaste belichting (laag vermogen).
	Vast	32	-	-	Combinatie scenario's 13 en 15.
16	Mobiel	112	1	0.5	Mobiel: half vermogen, half traject. Gecombineerd met vaste belichting (hoog vermogen).
	Vast	52	-	-	Combinatie scenario's 13 en 14.

De volgende scenarios zijn met behulp van simulaties geëvalueerd (Tabel 2.3):

Scenarios 1 en 2 zijn respectievelijk de vaste en de mobiele belichting met een dubbel lampvermogen. De hoeveelheid door de plant ontvangen straling zal toenemen.

Scenarios 3, 4 en 5 laten de loopsnelheid van de mobiele lamp dalen van dubbel via normaal naar half. Bij een dubbele loopsnelheid zal een plant vaker door de lamp worden gepasseerd, maar zal korter worden belicht. Scenario 4 komt overeen met de experimentele behandeling mobiel licht, hoog lichtniveau.

Scenarios 6, 7 en 8 laten ook de loopsnelheid dalen, maar combineren dit met een halvering van het lichtniveau. Scenario 7 komt overeen met de experimentele behandeling mobiel licht, laag lichtniveau.

Scenario 9 kent een dubbel stralingsniveau en een dubbele snelheid. Met een hogere lichtintensiteit passeert de lamp de plant dus vaker.

Scenarios 10, 11 en 12: In de praktijk wordt gestreefd naar een verkorting van het traject waarover de lamp loopt. Bij halvering van de lengte van het traject passeert de lamp een plant twee maal zo vaak. Het vermogen van de lampen zou dus ook gehalveerd kunnen worden om de totale dagelijkse ontvangen hoeveelheid straling gelijk te houden. Daarnaast wordt het effect bekeken van het tot een kwart terugbrengen van zowel de lengte van het traject als het vermogen.

Scenarios 13, 16 en 17 combineren een halvering van de lengte van het traject en het vermogen (vgl. scenario 11) met een halvering van de loopsnelheid (scenario 13). Dit zal resulteren in minder ontvangen straling per dag. Om dit te compenseren wordt vaste belichting toegevoegd (scenarios 16 en 17).

3 Resultaten en discussie

3.1 Gerealiseerd kasklimaat

Relatieve luchtvochtigheid en CO₂

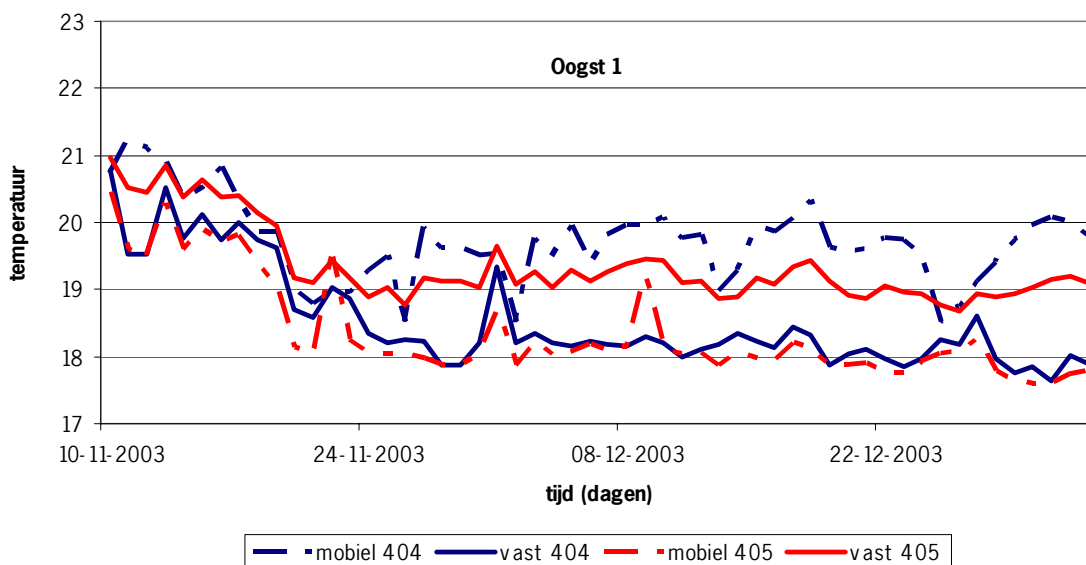
De relatieve luchtvochtigheid varieerde, in beide kassen, nachts tussen de 70 en 80 %. Deze kon overdag dalen naar een RV van 50 tot 60% wanneer de luchtramen open gingen.

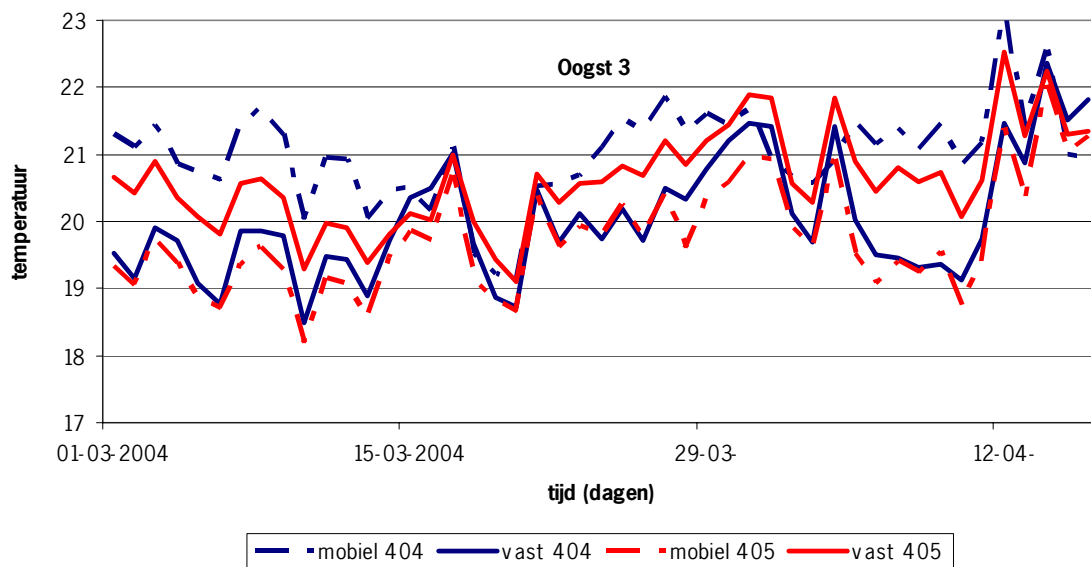
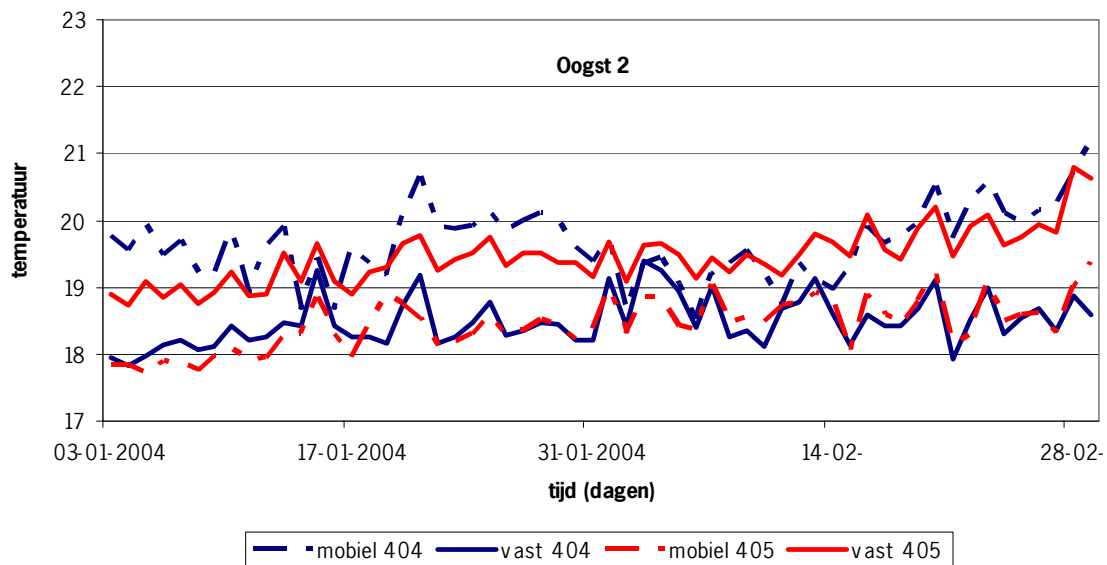
Een CO₂-concentratie van 700 ppm kon in beide kassen bij gesloten ramen goed worden gerealiseerd. Wanneer de luchtramen open gingen kon de CO₂-concentratie overdag dalen naar 350 ppm.

Temperatuur

De extra temperatuurmetingen per lichtbehandeling zijn per oogstperiode weergegeven in de figuren 3.1 t/m 3.3. In kas 404 is de temperatuur onder de mobiele belichting gemiddeld 1.2 °C hoger dan onder de vaste belichting in de 1^{ste} oogstperiode. Er zijn zelfs dagen dat dit verschil oploopt tot 2 °C (figuur 3.1). In de 2^{de} oogstperiode (figuur 3.2) en 3^{de} oogstperiode (figuur 3.3) is het verschil gemiddeld 1 °C. In kas 405 zijn deze verschillen onder mobiel en vast licht omgedraaid. Hier is de temperatuur onder vaste belichting, bij alle drie de oogstperiodes, gemiddeld 1 °C hoger dan onder de mobiele belichting. Een belangrijke oorzaak voor deze verschillen ligt in de positionering van proefvelden. Bij de proefvelden die aan de corridorkant van de kas liggen is de temperatuur hoger dan bij de proefvelden die aan de buitengevelkant liggen (figuren 2.2 en 2.4).

Aangezien er één verwarmingssysteem en regeling per kas is, was het niet mogelijk om per kashelft apart te regelen. Enig plaatseffect voor de temperatuur in een kas is er altijd. Door goede registratie op verschillende plekken wordt inzicht gekregen in de ruimtelijke verschillen. Hiermee kan dan rekening gehouden worden bij de interpretatie van gegevens.





Figuren 3.1 – 3.3 Gerealiseerde kasttemperatuur per kas en per kashelft

PAR licht in de kas

In tabel 3.1 zijn de lichtsommen in de kas per oogstperiode opgenomen onder de vaste belichting. In de 1^{ste} oogstperiode zijn er geen significante verschillen tussen de beide kassen. De 2^{de} oogstperiode wordt in kas 405 gemiddeld 14% meer licht gemeten dan in kas 404, terwijl in de 3^{de} oogstperiode de verschillen in lichtintensiteit weer min of meer gelijk zijn. Dit is ondermeer toe te schrijven aan de positie (zie tabel 4) van de PAR-sensoren en aan de stand van de zon in de betreffende oogstperiode. Ook hier zijn plaatseffecten geregistreerd, maar nu voor de lichtintensiteit en dus de lichtsommen. De oorzaak moet gezocht worden in de richting van de kas ten opzicht van de zon, en de effecten van de tussengevels.

Onder de mobiele belichting zijn ook extra PAR metingen uitgevoerd maar het was niet mogelijk om hier lichtsommen te berekenen omdat de interval tussen de afzonderlijke metingen 1 minuut bedroeg. Daar de

mobile lampen bewegen ten opzichte van de PAR-meters is deze interval te groot, gezien de snelheid waarmee de lampen bewegen, om een betrouwbare schatting te kunnen maken van de lichtintensiteit in de tussenliggende tijd.

Tabel 3.1 Lichtsommen (daglicht + lamplicht onder vaste belichting) in mol/m² per oogstperiode

Oogstperiode	Meter *	Kas 404	Meter *	Kas 405
1	P3	92.0	P5	87.9
	P4	89.3	P6	91.7
2	P3	268.7	P5	302.8
	P4	262.3	P6	314.7
3	P3	462.5	P5	471.6
	P4	547.5	P6	513.6

* voor positie meters in de kas zie figuur 2.4

Duidelijk is dat er plaatsverschillen in de kas zijn. Door waarnemingen te doen in meerdere proefvelden per behandeling te meten zijn de plaatsverschillen waarschijnlijk te verwaarlozen.

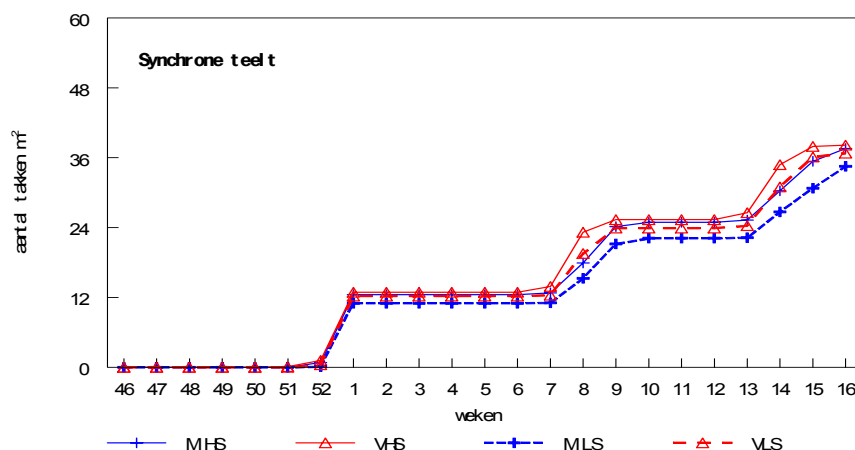
In figuur 1 in bijlage 3 staat een overzicht van het gerealiseerde kasklimaat gedurende de gehele proef.

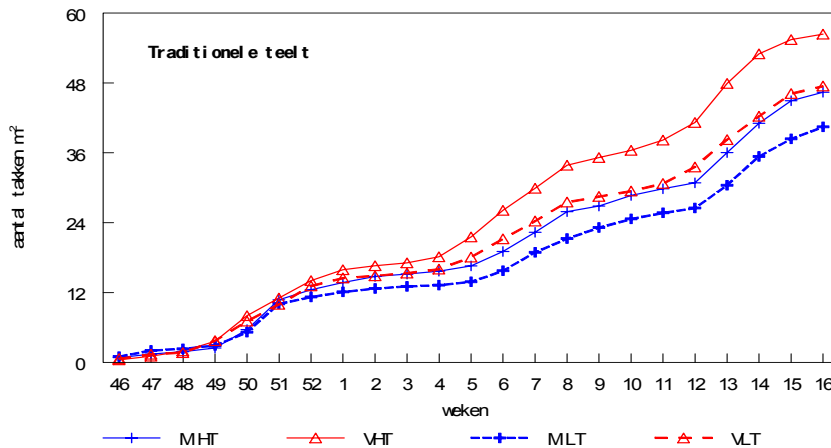
3.2 Productie

Totale proefperiode

Figuur 3.4 laat het gemiddelde cumulatief aantal geoogste takken gedurende de proefperiode zien in de synchrone teelt. De 1^{ste} oogst is er in circa 5 dagen af (d.w.z. de laatste tak van een snee wordt 5 dagen na de eerste tak van een snee geoogst). De daarop volgende oogsten duren steeds een paar dagen langer. Met name onder mobiele belichting in kas 405 bij een lage lichtintensiteit treedt achterstand op in de ontwikkelingssnelheid van het gewas (bijlage 2 figuren 1 t/m 4).

Onder de mobiele belichting bij de lage lichtintensiteit is de laagste productie gevonden. Uitzondering hierop is de 1^{ste} oogst in kas 404. Dit wordt veroorzaakt door de hogere gerealiseerde kastemperatuur in die periode (figuur 3.1). In de derde periode zijn de verschillen tussen mobiele en vaste belichting kleiner, mogelijk komt dat omdat in die periode het daglicht een groter aandeel van de totale lichtsom uitmaakt. Bij de traditionele teelt (figuur 3.5) neemt de productie, zoals gebruikelijk is, in de tijd minder sprongsgewijs toe. Onder de vaste belichting bij de hoge lichtintensiteit is de productie het hoogst.





Figuren 3.4 en 3.5 Cumulatief aantal takken per m² tijdens de proefperiode, M = mobiel licht, V = vastlicht, H = hoge lichtsom, L = lage lichtsom, S = synchrone teelt, T = traditionele teelt

Statistische analyse productie over de gehele teelt

Er worden geen verschillen waargenomen in het totaal aantal takken per m² bij synchrone- en traditionele teelt tussen mobiele of vaste belichting (tabel 3.2, blok midden). Wel wordt er een significant verschil gevonden tussen een hoge of lage lichtintensiteit (tabel 3.2, onderste regel), onder hoog licht wordt een hogere productie gevonden. Onder vaste belichting worden er significant meer takken geproduceerd in de traditionele teelt wanneer de belichtingsvorm en de teelt wijze gecombineerd worden (tabel 3.2, rechter blok) Verder worden er in de traditionele teelt betrouwbaar meer takken gesneden dan in de synchrone teelt.

Tabel 3.2 Totaal aantal takken per m², over de gehele teelt, verschillende letters geven significante verschillen aan.

Aantal	Lichtniveau →	Laag	Hoog	Gemiddeld Belichting*Teelt
	Belichting ↓			
Traditioneel	Vast	47.6 cd	57.4 d	52.5 c
	Mobiel	40.9 bc	46.8 bcd	
Synchroon	Vast	36.6 ab	38.4 abc	37.5 ab
	Mobiel	34.7 a	38.3 abc	
Gemiddeld per lichtniveau		39.1a	43.9 b	

Wanneer bovenstaande toets wordt uitgevoerd voor alleen de traditionele teelt, waar het aantal takken niet is gemanipuleerd, dan blijkt ook daar geen significant verschil tussen mobiel en vast licht te zijn (Tabel 3.2.b) zoals te zien aan de a- en b- aanduidingen. M.a.w. de wijze van belichting geeft géén significant verschil in productie.

Tabel 3.2.b Totaal aantal takken per m², over de gehele teelt, apart getoetst voor de traditionele teelt. Verschillende letters geven significante verschillen aan.

Aantal	Lichtniveau →	Laag	Hoog	Gemiddeld Belichting
	Belichting ↓			
Traditioneel	Vast	47.6 ab	57.4 b	52.5 a
	Mobiel	40.9 a	46.8 ab	43.9 a
Gemiddeld per lichtniveau		39.1 a	43.9 b	

Hetzelfde effect van lichtintensiteit wordt ook gevonden bij het gemiddelde takgewicht (tabel 3.3) Door het aantal takken te vermenigvuldigen met het gemiddeld takgewicht wordt het totaal gewicht c.q. biomassa productie berekend (tabel 3.4). Dezelfde significante verschillen bij de combinatie belichting*teelt en hoog en laag licht worden hier versterkt terug gevonden. In de traditionele teelt is er onder het hoge lichtniveau nu wel een significant hogere biomassa productie onder de vaste belichting dan onder mobiele belichting.

Tabel 3.3 Gemiddeld takgewicht (gram) over de gehele teelt, verschillende letters geven significante verschillen aan.

Takgewicht	Lichtniveau →	Laag	Hoog	Gemiddeld Belichting*Teelt
	Belichting ↓			
Traditioneel	Vast	54.0 a	54.4 a	54.2 a
	Mobiel	52.2 a	50.8 a	51.4 a
Synchroon	Vast	51.7 a	55.5 a	53.7 a
	Mobiel	48.5 a	51.7 a	50.2 a
Gemiddeld per lichtniveau		51.6 a	53.2 b	

Tabel 3.4 Totaal geproduceerd gewicht (gram/m²) over de gehele teelt, verschillende letters geven significante verschillen aan.

Totaal gewicht	Lichtniveau →	Laag	Hoog	Gemiddeld Belichting*Teelt
	Belichting ↓			
Traditioneel	Vast	1826 d	2283 e	2054 c
	Mobiel	1538 bcd	1737 cd	1638 b
Synchroon	Vast	1235 ab	1417 bc	1326 a
	Mobiel	1143 a	1297 b	1220 a
Gemiddeld per lichtniveau		1386 a	1618 b	

In de tweede en derde teelt perioden zijn het takgewicht en de taklengte per tak afzonderlijk bijgehouden. In de tweede periode waren de verschillen in taklengte niet significant, maar in de derde periode waren de takken uit de traditionele teelt circa 10 cm langer.

Tabel 3.5 Taklengte (cm) in de tweede teelt, verschillende letters geven significante verschillen aan.

Taklengte	Lichtniveau →	Laag	Hoog	Gemiddeld Belichting*Teelt
	Belichting ↓			
Traditioneel	Vast	95.1 a	93.7 a	94.3 a
	Mobiel	94.4 a	93.2 a	93.8 a
Synchroon	Vast	89.1 a	90.7 a	89.9 a
	Mobiel	88.6 a	91.3 a	90.0 a
Gemiddeld per lichtniveau		91.0 a	91.9 a	

Tabel 3.6 Taklengte (cm) in de derde teelt, verschillende letters geven significante verschillen aan.

Taklengte	Lichtniveau →	Laag	Hoog	Gemiddeld Belichting*Teelt
	Belichting ↓			
Traditioneel	Vast	86.6 c	86.1 c	86.3 b
	Mobiel	88.5 c	87.0 c	87.7 b
Synchroon	Vast	76.2 a	77.7 ab	77.0 a
	Mobiel	78.8 ab	79.8 b	79.3 a
Gemiddeld per lichtniveau		82.4 a	82.7 a	

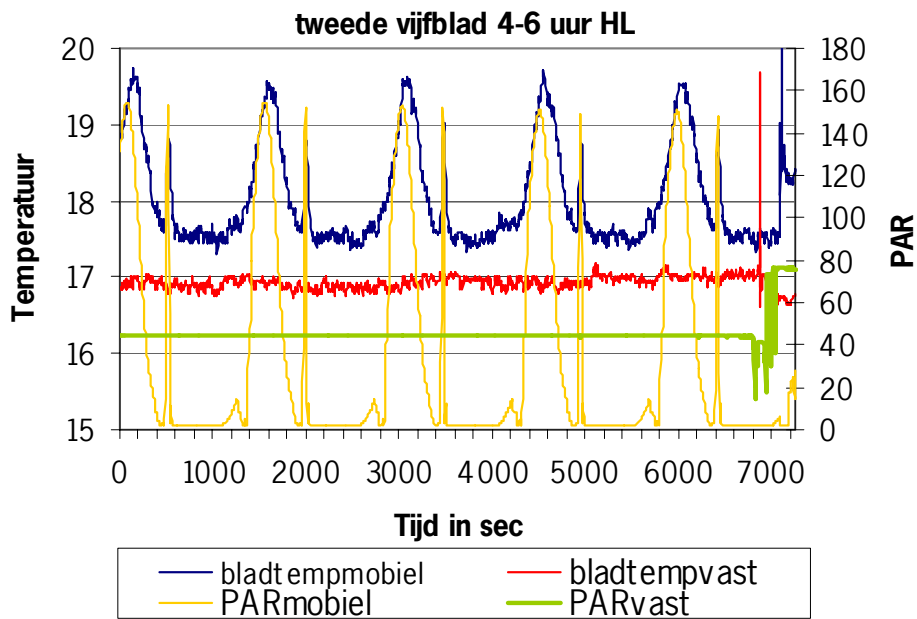
Een uitwerking van de analyse per oogstperiode is in bijlage 3 gegeven.

3.3 Bladtemperatuur

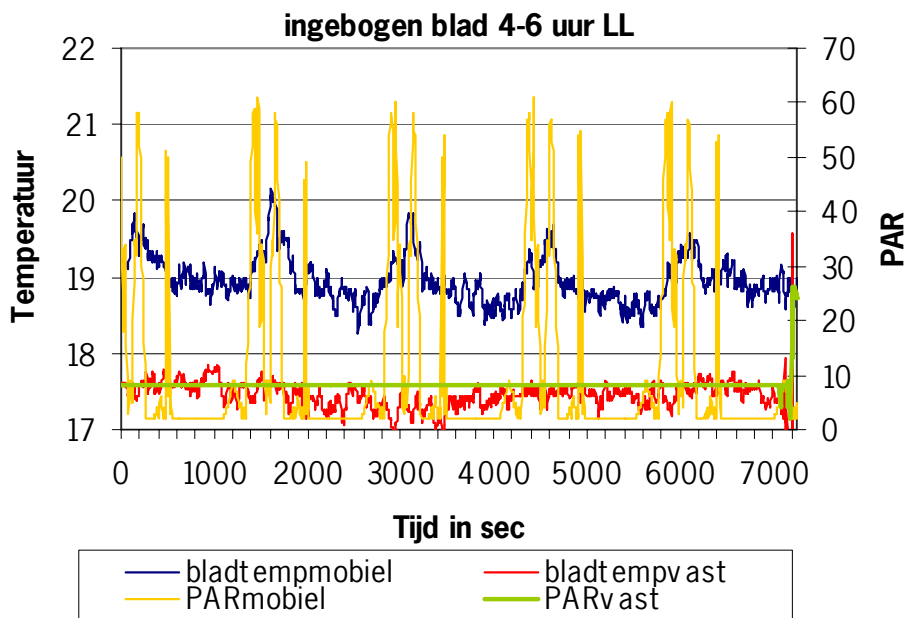
De bladtemperatuur, gemeten bij de hoge lichtintensiteit aan het tweede vijfblad van een opgaande tak (figuur 3.6), neemt onder de mobiele belichting 2 ° C toe bij de heengaande beweging en 1 ° C bij de teruggaande beweging. Omdat onder de mobiele belichting bij de hoge lichtintensiteit de lampen direct boven het gewas hangen en omdat er geen omringende takken vlakbij zijn zie je hier geen schaduwwerking. Het patroon van de PAR-licht meting komt overeen met die van figuur 2.3. Duidelijk is dat de verdamping via de huidmondjes niet snel genoeg op gang komt om een temperatuurstijging te voorkomen. Waarschijnlijk is er nauwelijks sprake van extra verdamping tijdens de lichtpuls, omdat de afkoeling van het blad iets achter loopt op het licht en de temperatuur ná de lichtpuls niet extra laag doorschiet. Dit geeft aan dat effecten van mobiele belichting op de groei en productie niet moeten worden gezocht in verschillend functioneren van de huidmondjes.

In figuur 3.7 is de temperatuur van het ingebogen bladpakket gevolgd bij een lage lichtintensiteit op het moment dat er een flink gewas op stond. Dit is goed te zien aan de vele pieken, die ontstaan door schaduwwerking van andere takken, van het gelijktijdig gemeten PAR-licht (gele lijn). De temperatuur onder de mobiele belichting is hoger dan onder de vaste belichting. Dit is geen effect van de belichting maar van de positie van het proefveld zoals reeds is aangegeven bij de gerealiseerde temperatuur per kashelft (Fig 3.1 – 3.3) Op het moment dat de mobiele lamp langs komt stijgt de temperatuur bij lage lichtintensiteit ongeveer met 1°C (blauwe lijn).

Metingen die overdag gedaan zijn onder mobiele belichting (resultaten niet weergegeven) laten niet het patroon van de heen en terug gaande beweging van de lampen zien omdat de verschillen in straling van buiten veel groter is.



Figuur 3.6 Lichtintensiteit en bladtemperatuur onder hoger licht aan het tweede vijfblad van een opgaande tak



Figuur 3.7 Lichtintensiteit en bladtemperatuur onder laag licht aan het ingebogen bladpakket.

3.4 Houdbaarheid

Eind februari zijn van de verschillende licht behandelingen in de synchrone teelt bloemen op de vaas gezet om de houdbaarheid te toetsen. Er wordt geen verschil in vaasleven gevonden tussen de belichtingsbehandelingen. Bij 30% van de bloemen in alle behandelingen treden na 7 dagen bruine randjes op. Dit is een bekend kwaliteitsprobleem bij donkerrode rozen. Verschillen in knopopening en afschrijfcriteria traden niet op.

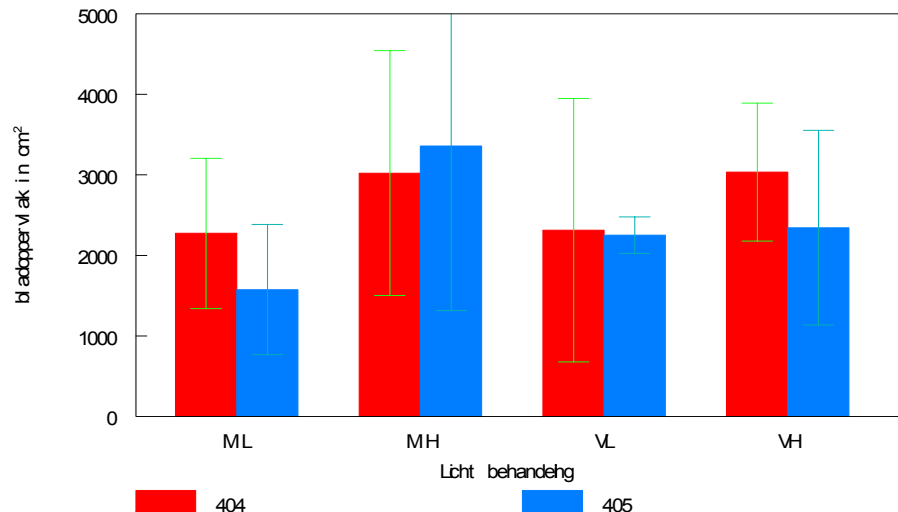
Tabel 3.7 Vaasleven (dagen) 'First Red' in de synchrone teelt bij de verschillende behandelingen.

belichting	mobiel	vast
hoog	10.53 ± 1.64	12.27 ± 0.88
laag	12.27 ± 0.80	12.60 ± 1.18

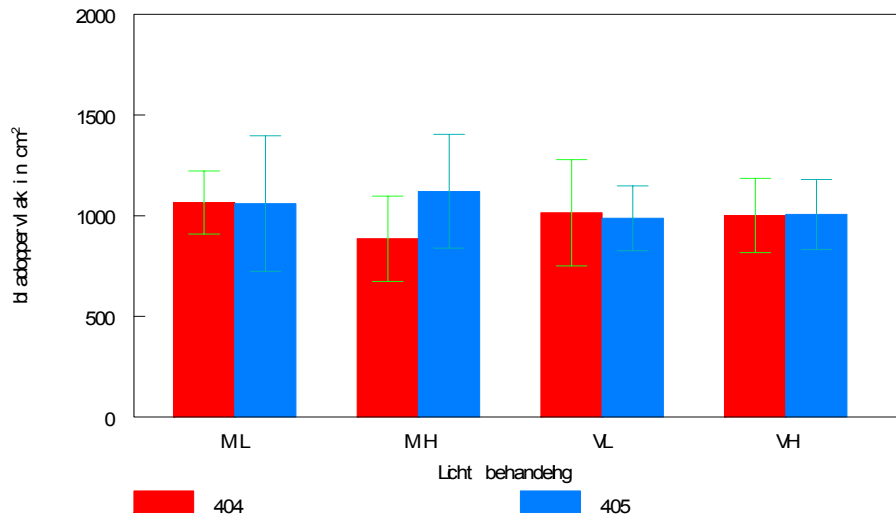
3.5 Bladoppervlak

Aan het einde van de proef is het bladoppervlak bepaald van liggend bladpakket en opgaande takken (figuren 3.8a en b). Er werden geen verschillen waargenomen tussen het bladoppervlak onder mobiele belichting of vaste belichting bij zowel het liggend bladpakket als de opgaande takken. Wel was de spreiding erg groot binnen de behandelingen.

Bladopp. liggend pakket

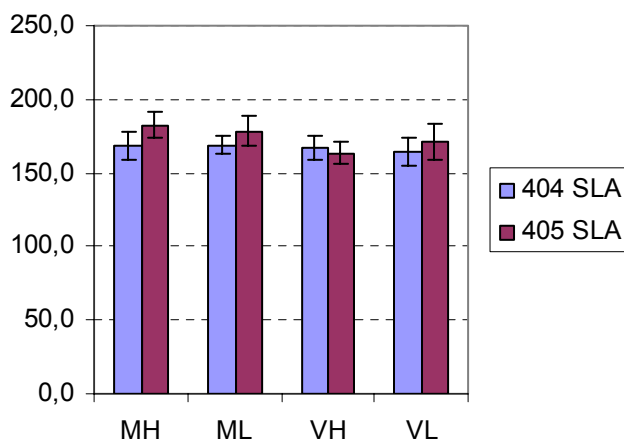


Bladopp. opgaande takken



Figuren 3.8a en 3.8b - Bladoppervlak (cm² per plant) liggend bladpakket en opgaande takken. Balkjes geven de spreiding aan. De schaal voor bladoppervlak is verschillend in de figuren.

De belichtingsbehandelingen zouden ook invloed kunnen hebben op de dikte en dus de strekking van het blad. Dit is te zien aan het SLA (Specific Leaf Area), een maat voor de hoeveelheid bladoppervlak per eenheid drooggewicht (cm²/g). In Figuur 3.9 is te zien dat er geen verschil is tussen de SLA onder mobiele en vaste belichting, m.a.w. de strekking wordt niet beïnvloed door de wijze van belichten.



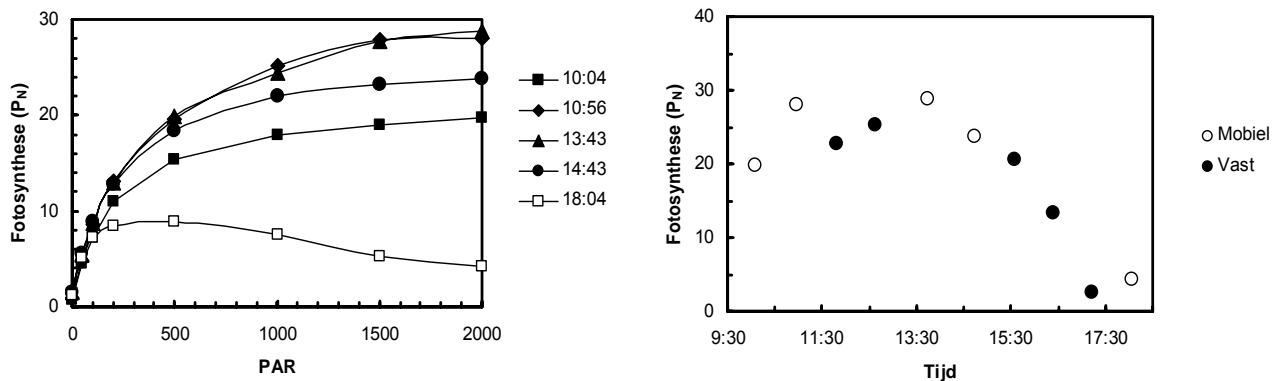
Figuur 3.9 Specific leaf area (cm² per g drooggewicht) van geoogste takken van de laatste snee. In het ingebogen bladpakket was ook geen verschil in SLA gevonden.

3.6 Fotosynthesemetingen

3.6.1 Inventariserende metingen in snee 1

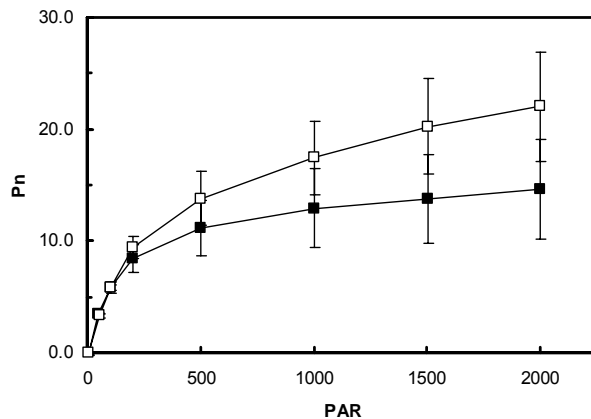
Meting lichtafhankelijkheid fotosynthese

Tijdens de eerste snee zijn er op drie momenten lichtresponsmetingen uitgevoerd op 18 en 20 november, 2 en 4 december en op 16 en 18 december. Figuur 3.10 laat de lichtresponscurves zien van de meting op 20 november. 's Morgens om 10 uur bedraagt de maximale fotosynthese rond $20 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. De maximale fotosynthese stijgt tot circa 28 rond het middaguur en loopt dan weer terug. Het verloop in de tijd is voor mobiele en vaste belichting weergegeven in Figuur 3.11. Zowel de planten onder mobiele als onder vaste belichting vertonen het fenomeen dat de maximale fotosynthese in de loop van de middag afneemt. Dit fenomeen heeft grote gevolgen voor de experimentele opzet van het experiment. Middeling van de resultaten om het effect van biologische variatie te verminderen is niet goed mogelijk als de maximale fotosynthese niet constant is gedurende de dag. Dat heeft tot gevolg dat middeling van de data resulteert in een grote variatie in de meetresultaten, waardoor kleine verschillen niet goed aangetoond kunnen worden.



Figuur 3.10 (links) Lichtafhankelijkheid van de fotosynthese (in $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) gemeten op 20 november 2003 aan bladeren van het gewas geteeld onder mobiele belichting. De metingen werden op verschillende tijdstippen aan bladeren van verschillende planten gedaan. De eerste meting vond plaats om 10:04 en de laatste om 18:04. PAR-licht weergegeven in $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$

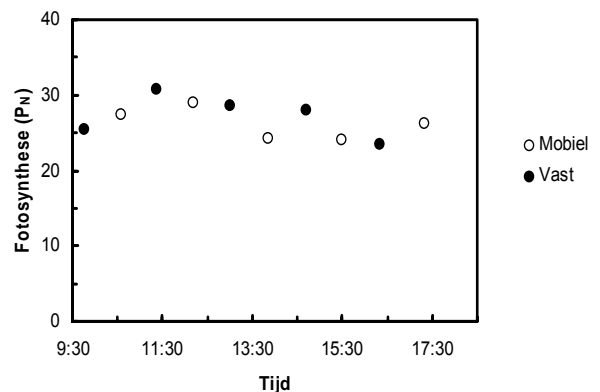
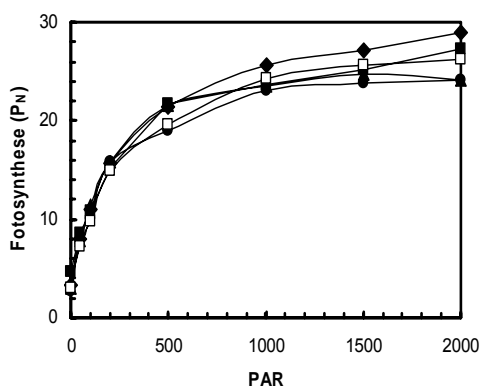
Figuur 3.11 (rechts) Verloop van de netto fotosynthese (P_N) van het vaste en het mobiele gewas op 20 november 2003. De fotosynthese werd gemeten bij $2000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (PAR) belichting. De op deze wijze gemeten P_N waarde ligt dicht bij de maximale fotosynthesecapaciteit van het blad. De meting werd uitgevoerd in compartiment 404 met de ADC fotosynthesemeter. Eenheden als in fig 3.10



Figuur 3.12 Lichtafhankelijkheid van de fotosynthese (P_n , in $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) gemeten op 2 december 2003 aan bladeren van het gewas geteeld onder vaste (■) en onder mobiele (□) belichting. De metingen werden op 5 verschillende tijdstippen uitgevoerd, elke keer aan een blad van een andere plant. De eerste meting vond plaats om 10:30 en de laatste om 18:15. Foutenbalken geven de standaarddeviatie weer. PAR-licht weergegeven in $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Op 2 december vertoonden de ingebogen takken nog steeds het verschijnsel dat de P_n in de loop van de middag afneemt (data niet getoond). Figuur 3.12 laat zien dat het mobiel belichte gewas een hogere P_n lijkt te vertonen, maar door de grote standaarddeviatie zijn de verschillen niet significant.

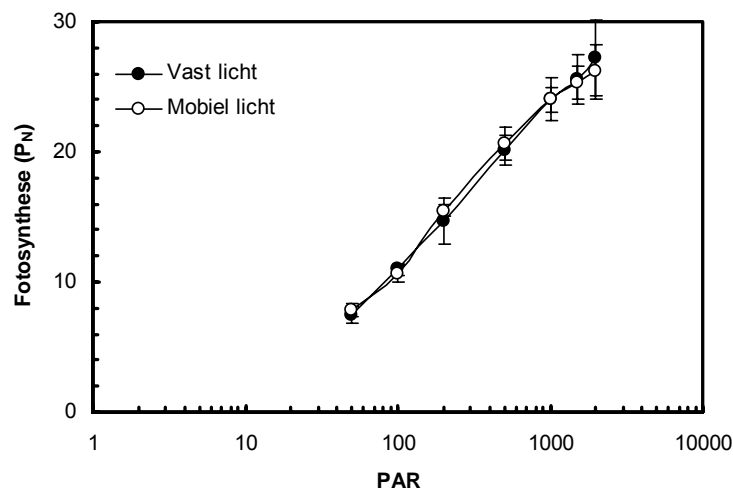
Op 17 december, aan het eind van de eerste snee, is de maximale fotosynthese gedurende de gehele dag stabiel (Figuren 3.13 en 3.14).



Figuur 3.13 (links) Lichtafhankelijkheid van de fotosynthese (in $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) gemeten op 17 december 2003 aan bladeren van het gewas geteeld onder mobiele belichting. De metingen werden op verschillende tijdstippen tussen 10:34 en 17:19 gedaan aan bladeren van verschillende planten. PAR-licht weergegeven in $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Figuur 3.14 (rechts) Verloop van de netto fotosynthese (P_n) op 17 december 2004. De fotosynthese werd gemeten bij $2000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (PAR) belichting. De op deze wijze gemeten P_n waarde ligt dicht bij de maximale fotosynthesecapaciteit van het blad. De meting werd uitgevoerd in compartiment 404 met de ADC fotosynthesemeter. Eenheden als in Fig 3.13.

Figuur 3.15 geeft de resultaten van de metingen in Figuur 3.14 op een iets minder gebruikelijke wijze weer. De lichtintensiteiten zijn nu op een logaritmische schaal uitgezet. Hierdoor komen de lagere lichtintensiteiten wat beter naar voren. Het is duidelijk dat bij de lichtintensiteiten waarbij het gewas geteeld wordt, d.w.z. tussen 10 en 250 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (PAR), er geen verschillen aantoonbaar zijn.



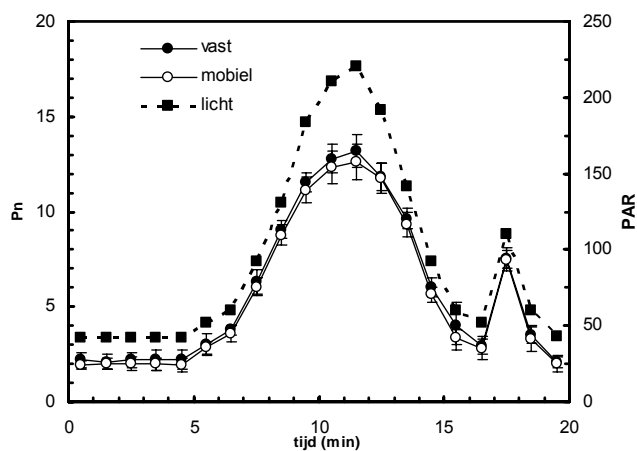
Figuur 3.15 Lichtafhankelijkheid van de fotosynthese gemeten op 17 december 2004. De data zijn dezelfde als in Figuur 3.13, maar nu zijn alleen de gemiddelde waarden plus de standaarddeviatie weergegeven voor mobiele en vaste belichting. Om over het gehele PAR traject een duidelijke vergelijking te kunnen maken is voor de x-as een logaritmische schaal toegepast.

Conclusie

Op basis van de resultaten van de lichtresponsmetingen kan geen significant effect van mobiele belichting op de fotosynthesesnelheid van het gewas aangetoond worden. Dit geldt zowel voor hoge als lage lichtintensiteit.

Meting inductie fotosynthese

Met de Licor en de ADC meters is in de twee kascompartimenten een vergelijking gemaakt van de respons van de bladfotosynthese op een gesimuleerde lichtpuls. De resultaten van de meting op 18 december staan in Figuur 3.16.



Figuur 3.16 Inductie van de fotosynthese in de fotosyntheseceuvet door een gesimuleerde lichtpuls. Metingen verricht aan 5 planten van mobiel geteeld gewas en 5 planten van gewas onder vaste belichting.

Figuur 3.16 laat zien dat in het mobiel belichte (open rondjes) en het continue belichte (gesloten rondjes) gewas de fotosynthese:

1. even snel reageert op de in de meetcuvet aangelegde lichtpuls (vierkantjes),
2. qua amplitude niet verschilt en
3. ook na voor en na de lichtpuls geen verschil te zien geeft.

De inductiemetingen leiden dan ook tot de conclusie dat de mobiele belichting géén activerend effect heeft op de fotosynthese van het gewas en dat ook de fotosynthese voor en na de lichtpuls niet efficiënter verloopt in het mobiel belichte gewas. Dat houdt tevens in dat niet te verwachten is dat de huidmondjes zich anders gedragen in het mobiel geteelde gewas.

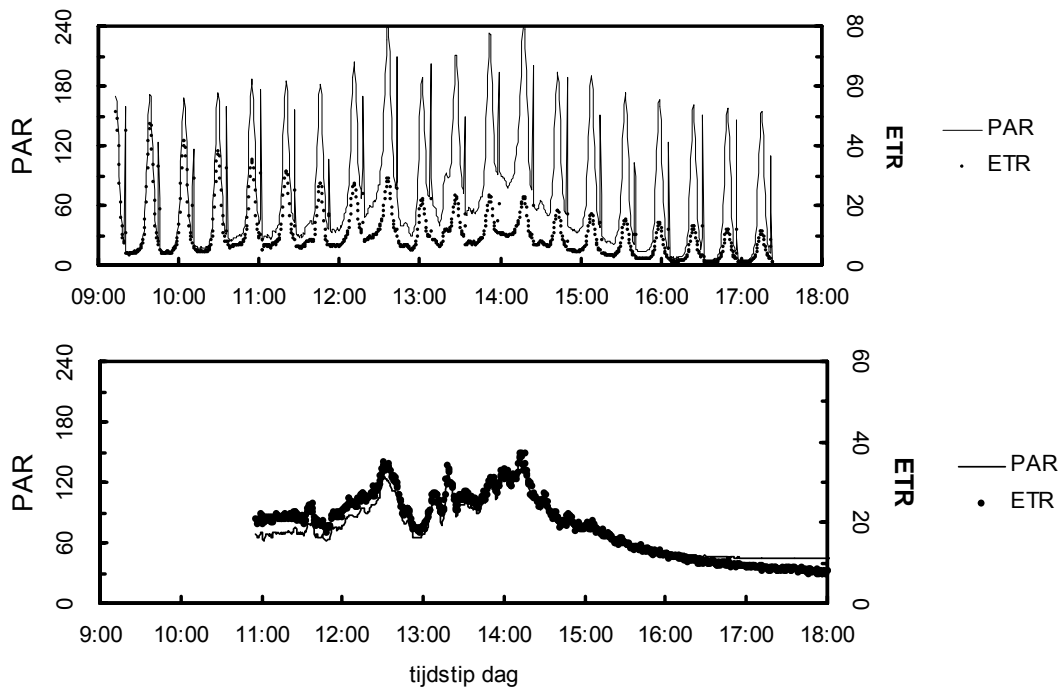
Monitoring dagelijkse fotosynthese via chlorofyl fluorescentie

In de literatuur is gerapporteerd dat de fotosynthese in sommige plantensoorten niet even efficiënt verloopt gedurende de dag. Dat zou betekenen dat metingen 's morgens en 's middags niet vergelijkbaar zijn. De fotosynthese van een blad is daarom gedurende een aantal meetdagen continue gedurende de dag gemeten.

Figuur 3.17 laat de resultaten zien van de meting op 20 november. De dagelijkse lichtsom is voor mobiele en vaste belichting vergelijkbaar, maar de verdeling over de dag verschilt aanzienlijk.

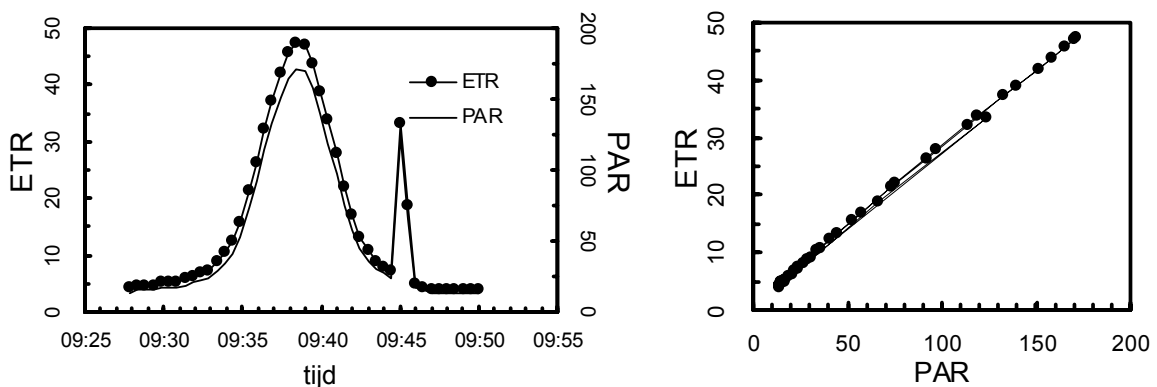
Uit figuur 3.17 blijkt duidelijk dat de efficiëntie van de belichting gedurende de dag sterk afneemt. Om 17 uur is er, bij vergelijkbare lichtintensiteit, aanzienlijk minder fotosynthese dan 's morgens om 11 uur. De oorzaak van deze verlaging kan met alleen deze gegevens niet achterhaald worden. Het effect lijkt bij zowel mobiele als vaste belichting op te treden en is dus waarschijnlijk niet gerelateerd aan de mobiele belichting.

Tijdens een cyclus van de mobiele belichting is er een lineair verband tussen de fotosynthese en de intensiteit van de belichting (Figuur 3.18). Deze lineaire relatie tussen fotosynthese en lichtintensiteit gedurende de lichtpuls toont aan dat de lichtpuls het fotosyntheseapparaat niet significant beïnvloedt. In dat geval van duidelijke beïnvloeding zouden er in de figuur 3.19 (rechter grafiek) meer punten moeten zijn die duidelijk afwijken van de lineaire relatie tussen fotosynthese en lichtintensiteit. Eén enkele cyclus mobiel licht beïnvloedt het functioneren van het fotosyntheseapparaat dus niet noemenswaard.



Figuur 3.17 Tijdsverloop van de lichtintensiteit (doorgetrokken lijn) en fotosynthese (punten) van een blad van een mobiel belichte plant (bovenste grafiek) en een blad van een plant onder vaste belichting (onderste grafiek). De fotosynthese is uitgedrukt in elektronentransport (ETR, eenheid: mol per m² per s). Ter informatie: 20 eenheden ETR komt overeen met ongeveer 1 kg opgenomen CO₂ per hectare blad per uur.

De resultaten van deze fluorescentiemetingen zijn ruwweg vergelijkbaar met de resultaten van de lichtafhankelijkheidsmetingen met de fotosynthesemeters op 20 november (zie Figuren 3.10 en 3.11). Er is echter wel een klein verschil. De fluorescentiemetingen laten echter vanaf het begin een daling van de fotosynthese zien, terwijl bij de lichtafhankelijkheidsmetingen de daling pas inzet vanaf ongeveer 14:00. De redenen voor dit kleine verschil is niet duidelijk en niet verder onderzocht.



Figuur 3.18 Links: verloop van de fotosynthese (links) van een blad aan een ingebogen tak gedurende een cyclus van de mobiele belichting.

Figuur 3.19 Rechts: de relatie tussen fotosynthese en de intensiteit van de mobiele belichting (rechts) van een blad tijdens de cyclus. De fotosynthese is gemeten als ETR met de Mini-PAM Chlorophyll Fluorometer.

Samenvatting en conclusies uit de metingen aan de eerste snee

- Er is geen significant verschil in fotosynthesesnelheid van de rozen geteeld onder mobiele belichting en rozen geteeld onder vaste belichting.
- De inductie van de fotosynthese gedurende een in een bladcuveit gegenereerde lichtpuls is even snel in rozen onder mobiele belichting als in rozen onder vaste belichting.
- In de eerste weken van de snee is de fotosynthese van de bladeren van de ingebogen takken sterk tijdsafhankelijk. Aan het eind van de middag zijn de maximale fotosynthesecapaciteit (P_n bij $2000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PAR) en de efficiëntie van de fotosynthese (gemeten met chlorofyl fluorescentie) fors lager dan 's morgens. Hoewel de afvlakking van de lichtresponscurves van deze bladeren nog ligt bij een lichtintensiteit die hoger ligt dan het actuele lichtniveau in de kas, is dit toch een indicatie dat het licht minder goed benut kan worden. De planten hebben blijkbaar niet genoeg buffer om de in de middag aangemaakte assimilaten nog in te verwerken.
- De consequentie van deze tijdsafhankelijkheid van de fotosynthese is voor het experimenteel werk in het project ingrijpend. Doordat het tijdstip waarop de meting uitgevoerd wordt van invloed is op de uitkomst, ontstaat er een grote variatie in de meetresultaten en wordt het lastig om de te verwachten kleine verschillen aan te tonen.
- Aan het eind van de snee is de tijdsafhankelijkheid van de fotosynthese verdwenen. Het maakt niet uit of je 's morgens of 's middags meet.
- Om toch kleine verschillen tussen mobiele en vaste belichting aan te tonen moeten er meer metingen aan meer planten gedaan worden in de tweede snee. Om te voorkomen dat die extra metingen ook meer tijd gaan kosten wordt besloten om in de volgende snee per meting met minder lichtstappen te gaan werken en de maximale lichtintensiteit te schrappen. Het aantal planten dat op een dag gemeten kan worden gaat daarmee omhoog van 5 naar 7.
- De fotosynthesemetingen nemen al met al veel meer tijd in beslag dan gepland, en daarom wordt gekozen om de fotosynthesemetingen goed uit te voeren om de opschaling naar gewasfotosynthese en gewasproductie te kunnen uitvoeren. Daarmee kwamen wegens gebrek aan tijd de geplande pigmentmetingen te vervallen.

3.6.2 Metingen snee 2

Lichtresponsmetingen

In de tweede snee zijn er metingen uitgevoerd op 27 januari en op 4 en 11 februari volgens het nieuwe protocol (5 lichtstappen per plant, 7 planten per behandeling). Op 27 januari en 4 februari was het verloop van de fotosynthese gedurende de middag weer zo groot dat middeling van de gegevens niet zinvol was. Op 11 februari was de fotosynthese weer zodanig constant gedurende de dag dat er een gemiddelde uitgerekend kon worden. De uitgewerkte data staan in tabel 3.8.

Tabel 3.8 Lichtafhankelijkheid van de fotosynthese (P_n in $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) gemeten op 11 februari aan vijfbladeren van opgaande takken. In compartiment 404 werden 5 bladeren per behandeling gemeten en in compartiment 405 werden per behandeling 7 bladeren gemeten. De vermelde getallen zijn gemiddelden plus de bijbehorende de standaarddeviatie.

PAR	kas 404		kas 405	
	Vast P_n	Mobiel P_n	Vast P_n	Mobiel P_n
1000	24.7 ± 4.3	26.3 ± 6.7	23.3 ± 3.4	21.4 ± 0.8
500	21.6 ± 3.5	21.8 ± 4.8	19.4 ± 1.9	19.1 ± 0.9
200	14.6 ± 3.9	13.2 ± 1.1	13.3 ± 0.8	13.5 ± 0.3
100	7.1 ± 0.1	7.0 ± 0.5	8.1 ± 0.7	8.0 ± 0.5
0	-0.6 ± 0.1	-0.4 ± 0.3	-0.4 ± 0.4	-0.3 ± 0.7

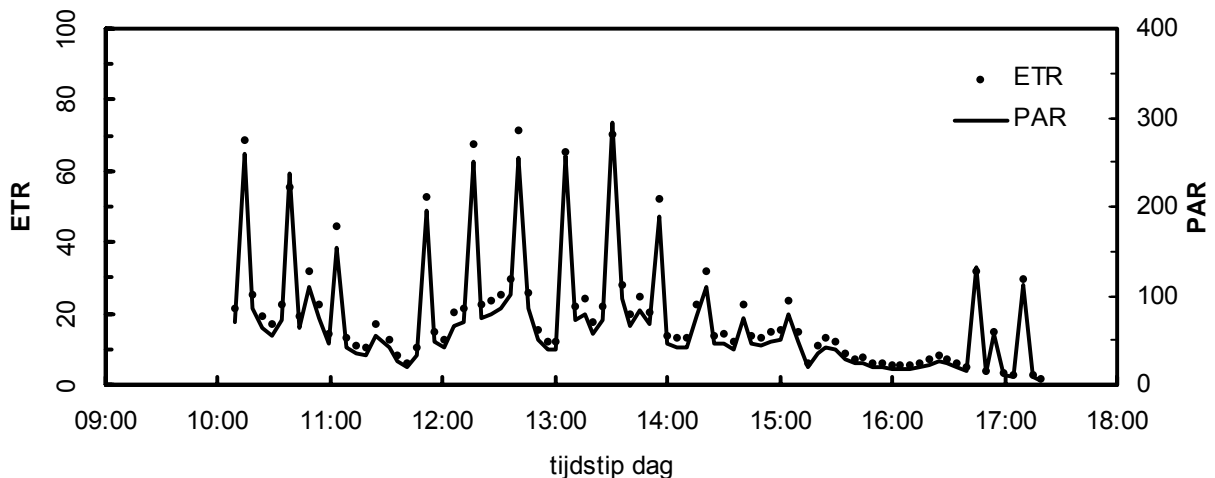
De resultaten van tabel 3.8 laten zien dat in beide kascompartimenten er geen aanwijzingen zijn dat mobiele belichting de fotosynthese van de rozen beïnvloedt.

Monitoring dagelijkse fotosynthese via chlorofyl fluorescentie

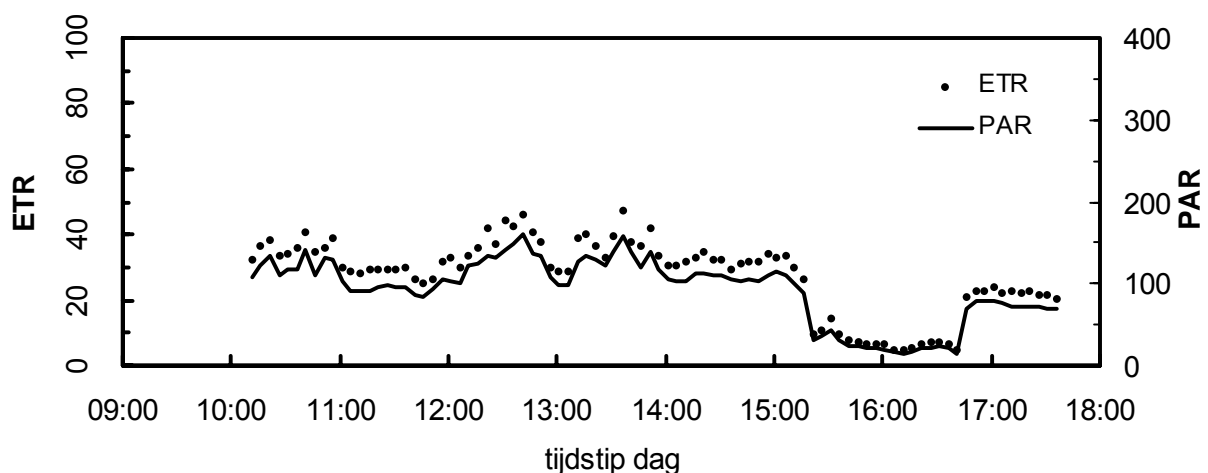
Om na te gaan of de meetresultaten uit de eerste snee geëxtrapoleerd mogen worden naar de tweede snee, is ook in de tweede snee een aantal monitoringsexperimenten uitgevoerd.

Figuur 3.20 geeft het verloop van de fotosynthese gedurende de dag weer. In het mobiel belichte gewas volgt de fotosynthese de intensiteit van het licht. Er is geen sprake van een lagere fotosynthese aan het eind van de dag. Hetzelfde geldt voor de metingen aan het gewas onder vaste belichting (Figuur 3.21). De lagere lichtintensiteit tussen 15:30 en 16:30 wordt veroorzaakt door het uitzetten van de assimilatieverlichting in verband met metingen van de lichtonderschepping van het gewas.

De fluorescentiemetingen bevestigen dus het beeld van de fotosynthesemetingen: op 11 februari is er geen verlaging van de fotosynthese aan het eind van de middag.



Figuur 3.20 Tijdsverloop van de lichtintensiteit (doorgetrokken lijn) en fotosynthese (punten) van een blad van een mobiel belichte plant op 11 februari 2004. De fotosynthese is uitgedrukt in elektronentransport (ETR, eenheid: mol per m² per s). Ter informatie: 20 eenheden ETR komt overeen met ongeveer 1 kg opgenomen CO₂ per hectare blad per uur.



Figuur 3.21 Tijdsverloop van de lichtintensiteit (doorgetrokken lijn) en fotosynthese (punten) van een blad van een plant onder vaste belichting (onderste grafiek) op 11 februari 2004. De fotosynthese is uitgedrukt in elektronentransport (ETR, eenheid: mol per m² per s). Ter informatie: 20 eenheden ETR komt overeen met ongeveer 1 kg opgenomen CO₂ per hectare blad per uur.

3.6.3 Metingen snee 3

De metingen in snee 3 zijn een herhaling van de metingen in snee 2. Op drie dagen zijn metingen uitgevoerd van de lichtafhankelijkheid van de fotosynthese. De resultaten van deze metingen vormen de basis voor de opschaling van de bladfotosynthese naar gewasfotosynthese door middel van modelsimulaties.

Overzicht van de fotosynthesemetingen in snee 3

Tabel 3.9 Lichtafhankelijkheid van de fotosynthese (Pn in $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) gemeten op 3 maart aan vijf bladeren van ingebogen takken. In beide kassen werden 7 bladeren gemeten per behandeling. De vermelde getallen zijn gemiddelden plus de bijbehorende standaarddeviatie.

PAR	kas 404		kas 405	
	Vast Pn	Mobiel Pn	Vast Pn	Mobiel Pn
1000	23.3 ± 4.8	23.5 ± 7.6	22.8 ± 2.9	23.9 ± 3.4
500	18.5 ± 4.0	18.3 ± 6.3	18.1 ± 2.8	19.9 ± 2.7
200	11.2 ± 1.7	10.5 ± 3.0	11.3 ± 1.9	12.7 ± 1.3
100	6.0 ± 0.5	5.6 ± 0.9	6.5 ± 1.2	7.2 ± 1.4
0	-0.9 ± 0.3	-0.7 ± 0.6	-0.7 ± 1.2	-0.5 ± 0.6

Tabel 3.10 Lichtafhankelijkheid van de fotosynthese (Pn in $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) gemeten op 17 maart aan vijf bladeren van ingebogen takken. In beide kassen werden 5 bladeren gemeten per behandeling. De vermelde getallen zijn gemiddelden plus de bijbehorende standaarddeviatie.

PAR	kas 404		kas 405	
	Vast Pn	Mobiel Pn	Vast Pn	Mobiel Pn
1000	22.4 ± 5.5	25.7 ± 3.1	18.8 ± 5.6	21.7 ± 7.1
500	18.8 ± 3.5	21.3 ± 2.2	16.2 ± 4.4	17.2 ± 6.0
200	11.6 ± 0.8	12.4 ± 0.4	10.9 ± 2.1	11.6 ± 2.9
100	5.9 ± 0.1	6.2 ± 0.2	6.8 ± 1.4	7.7 ± 1.1
0	-0.5 ± 0.3	-0.2 ± 0.4	-0.4 ± 0.5	-0.2 ± 0.8

Tabel 3.11 Lichtafhankelijkheid van de fotosynthese (Pn in $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) gemeten op 17 maart aan vijf bladeren van opgaande takken. In beide kassen werden 5 bladeren gemeten per behandeling. De vermelde getallen zijn gemiddelden plus de bijbehorende standaarddeviatie.

PAR	kas 404		kas 405	
	Vast Pn	Mobiel Pn	Vast Pn	Mobiel Pn
1000	20.6 ± 5.3	21.4 ± 1.7	19.3 ± 3.2	19.0 ± 3.3
500	18.0 ± 2.2	18.2 ± 0.9	17.8 ± 2.5	17.4 ± 3.1
200	11.1 ± 0.4	11.0 ± 0.6	12.2 ± 1.4	11.9 ± 1.1
100	5.2 ± 0.2	5.0 ± 0.8	7.2 ± 1.1	6.9 ± 0.6
0	-0.9 ± 0.4	-0.7 ± 0.3	-0.7 ± 1.3	-0.5 ± 0.9

Tabel 3.12 Lichtafhankelijkheid van de fotosynthese (Pn in $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) gemeten op 31 maart aan vijf bladeren van opgaande takken. In beide kassen werden 5 bladeren gemeten per behandeling. De vermelde getallen zijn gemiddelden plus de bijbehorende standaarddeviatie.

PAR	kas 404		kas 405	
	Vast Pn	Mobiel Pn	Vast Pn	Mobiel Pn
1000	33.1 ± 3.7	31.8 ± 6.3	27.7 ± 3.5	25.6 ± 2.0
500	26.2 ± 2.3	24.9 ± 4.9	22.1 ± 2.7	22.7 ± 1.1
200	13.2 ± 0.7	12.8 ± 1.7	13.5 ± 1.0	13.7 ± 1.0
100	6.6 ± 0.3	6.4 ± 0.7	7.3 ± 0.5	7.9 ± 0.7
0	-0.9 ± 0.5	-1.0 ± 0.4	-0.6 ± 0.7	-0.7 ± 0.7

De verschillen in netto fotosynthese tussen mobiele en vaste belichting zijn niet significant. Wel valt op dat op 31 maart de netto fotosynthese een stuk hoger ligt dan op de andere dagen. Mogelijk dat de hogere lichtsom in deze periode verantwoordelijk is voor een aanpassing van het fotosyntheseapparaat in zowel de rozen onder mobiele als onder vaste belichting.

3.6.4 Conclusies uit de fotosynthesemetingen

Aan het begin van het project zijn mogelijke mechanismen geformuleerd die mogelijk zouden kunnen verklaren waarom mobiele belichting efficiënter zou werken. Middels fotosynthesemetingen zijn deze verklaringen onderzocht. Dit onderzoek heeft de volgende antwoorden opgeleverd.

Efficiëntere benutting assimilatielicht

De resultaten tonen aan dat de fotosynthese van planten onder mobiele belichting niet significant verschilt van die van de planten onder vaste belichting, (bij gelijke lichtsom). Mobiele belichting zorgt dus niet voor een efficiëntere benutting van het assimilatielicht.

Een efficiëntere benutting van het daglicht

Uit de experimenten met de gesimuleerde lichtpuls blijkt dat de lichtbenutting voor en na de lichtpuls in rozen onder mobiele belichting niet hoger is dan bij rozen onder vaste belichting. Mobiele belichting zorgt dus niet voor een efficiëntere lichtbenutting van het daglicht.

Activatie van huidmondjes door mobiele belichting

De fotosyntheseinductie-experimenten laten zien dat mobiele of vaste belichting niet van invloed is op de inductie van de fotosynthese tijdens de gesimuleerde lichtpuls. Eventuele activatie van de huidmondjes is mogelijk, maar speelt geen rol tijdens de inductie van de fotosynthese.

Combinaties van bovenstaande factoren

Gezien het ontbreken van effecten is speculeren over een combinatie van kleine effecten uiterst riskant.

3.6.5 Overall conclusie t.a.v. mobiel licht en roos

De fotosynthesemetingen geven geen aanleiding de veronderstelling dat mobiel licht efficiënter zou werken.

Bij alle uitspraken moet bedacht worden dat er alleen gemeten is aan volledig aan het assimilatielicht blootgestelde bladeren. De uitspraken gelden dus alleen voor deze bladeren. Effecten van mobiel licht op bladeren onder in het gewas kunnen dus niet uitgesloten worden. In het begin van een snee zijn in een synchrone teelt alle takken weg en zijn derhalve ook de meeste bladeren volledig aan het licht blootgesteld.

Pas later in de snee zijn er weer meer bladeren die slechts gedeeltelijk aan het licht blootgesteld zijn.

Tot slot nog een aantal conclusies die niet rechtreeks met de vraagstelling van het onderzoek te maken hebben, maar wel relevant zijn voor energiebesparing in de tuinbouw.

Lichtbenutting synchrone rozen

- In de eerste weken van de snedes 1 en 2 is de fotosynthese van de bladeren van de ingebogen takken van de synchrone teelt sterk tijdsafhankelijk. Aan het eind van de middag is de fotosynthese fors lager dan 's morgens. In snee 3 was de verlaging aan het eind van de dag minder duidelijk. Dat betekent in dat de lichtbenuttingsefficiëntie 's middags gedurende een deel van het jaar flink lager is. Hoewel de afvlakking van de lichtresponscurves van deze bladeren nog ligt bij een lichtintensiteit die hoger ligt dan het actuele lichtniveau in de kas, is dit toch een indicatie dat het licht minder goed benut kan worden. De planten hebben blijkbaar niet genoeg buffer om de in de middag aangemaakte assimilaten nog in te verwerken.
- Overwogen zou kunnen worden om het belichtingsregime hierop aan te passen door eerder te stoppen met belichten of de assimilatiebelichting 's middags te verminderen. Dat zou tot een lager energieverbruik en tot kostenbesparingen in de synchrone teelt van snijrozen kunnen leiden.

Relatie chlorofyl fluorescentie en fotosynthese

Uit vergelijking van de chlorofyl fluorescentie en de fotosynthese metingen blijkt dat op bladniveau de efficiëntie van de fotosynthese goed is te schatten met chlorofyl fluorescentie. Een fluorescentiesensor zou dus goed toegepast kunnen worden om assimilatiebelichting en (energie)schermen te optimaliseren.

3.7 Modelling

3.7.1 Narekenen experimenten

Er zijn geen waarnemingen gedaan aan de totale (= inclusief liggend bladpakket) groei van het gewas. Daarom wordt de analyse van het verband tussen straling en groei volledig gebaseerd op simulatie-resultaten.

In de presentatie van modelresultaten wordt veel gebruik gemaakt van drooggewichten, omdat onderschepte straling beter correleert met drooggewicht dan met versgewicht¹.

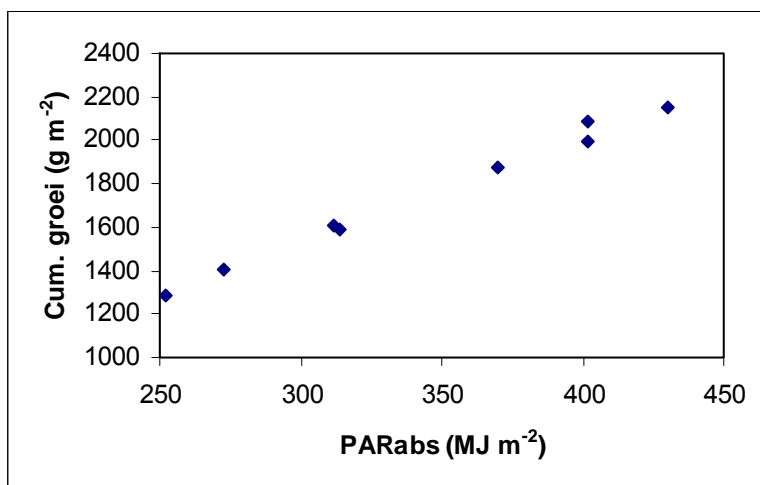
3.7.1.1 Relatie straling – totale groei

Er zijn geen verschillen gevonden tussen de fotosynthesekarakteristieken van een gewas onder vaste belichting en die van een gewas onder mobiele belichting. Verschillen in groei en ontwikkeling kunnen hier dus niet aan worden toegewezen. De totale gesimuleerde cumulatieve groei is daarom rechtstreeks te herleiden tot de totale hoeveelheid geabsorbeerde straling, met dien verstande dat de klimaatomstandigheden tussen de behandelingen niet steeds identiek waren en dus ook een kleine bron voor variatie in totale groei zijn geweest. De geabsorbeerde straling van zon en assimilatenbelichting kan met het gewas-groei-model worden berekend. Uit figuur 3.22 blijkt dat er een bijna lineair verband bestaat tussen de geabsorbeerde fotosynthetisch actieve straling (PAR) en cumulatieve groei. Dit is een oud gewas-fysiologisch gegeven (zie bijv. Loomis & Connor, 1992, blz. 275). Omdat de hoeveelheid zonnestraling voor alle behandelingen uiteraard gelijk is geweest, wordt het verschil (afgezien van de gevolgen van kleine variatie in andere klimaateigenschappen) verklaard door de variatie in straling afkomstig van de assimilatiebelichting.

Tabel 3.13 Over het hele seizoen gesimuleerde cumulatieve hoeveelheden van straling boven het gewas, geabsorbeerde fotosynthetisch actieve straling (PAR) en drogestofgroei. De cumulatieve drogestofgroei betreft de groei van hele planten tot en met de oogst van de derde snee, omvat het materiaal dat later is afgestorven, en de wortelgroei.

Behandeling	Cumulatieve hoeveelheid straling boven het gewas gedurende het seizoen (MJ m ²)		Cumulatieve hoeveelheid geabsorbeerde PAR (MJ m ²)	Gesimuleerde cumulatieve groei (g drooggewicht m ²)
	zon	Lamp		
404 vast hoog	647	431	402	2093
405 vast hoog	647	414	371	1925
404 vast laag	647	271	312	1627
405 vast laag	647	288	315	1645
404 mobiel hoog	647	470	402	1996
405 mobiel hoog	647	477	430	2150
404 mobiel laag	647	204	273	1401
405 mobiel laag	647	199	252	1282

¹ In het deel van de resultaten waar de productie wordt behandeld (hoofdstuk 3.2) wordt alleen met versgewichten gewerkt, omdat het niet werkbaar is om de hele oogst te drogen. Aangenomen wordt dat de drogestofgehaltes gedurende de proef niet erg verschillend zijn geweest.



Figuur 3.22 De gesimuleerde cumulatieve gewasgroei van de nagerekende experimenten in relatie tot de totale hoeveelheid geabsorbeerde PAR.

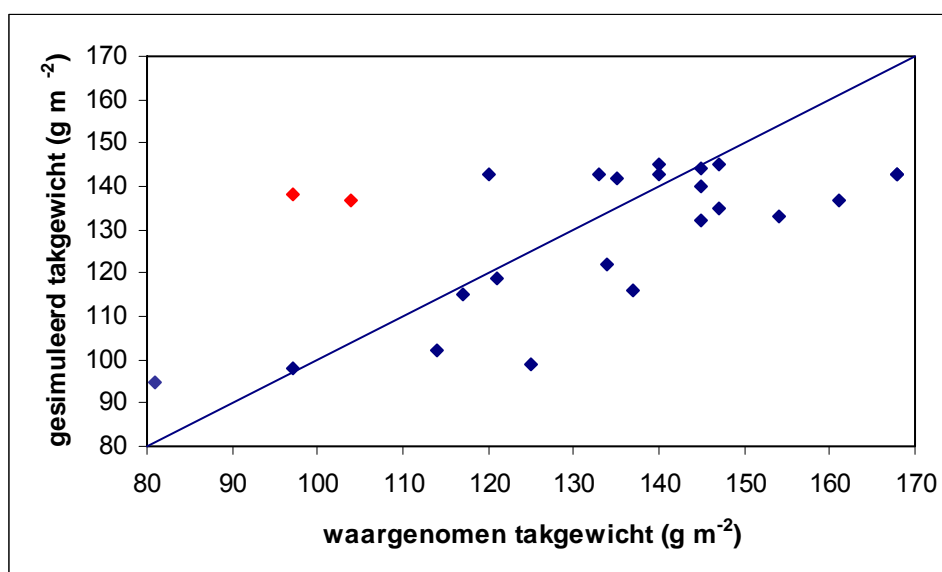
3.7.1.2 Simulatie takgewichten

Over alle behandelingen gemiddeld stemt het gesimuleerde totale takgewicht (389 g m^{-2}) goed overeen met het waargenomen gewicht (397 g m^{-2}). Het takgewicht van de eerste snede werd iets overschat, terwijl het takgewicht van de tweede en derde sneden iets werd onderschat. Vast hoog licht gaf de hoogste waargenomen totale productie, vast laag licht gaf een iets lagere productie, en mobiel hoog en laag licht gaven de laagste producties (zie ook tabel 3.4 voor de versgewichten). De gesimuleerde totale productie bij vast hoog licht werd iets onderschat, terwijl die bij mobiel hoog licht iets werd overschat, zodat de beide gesimuleerde waarden ongeveer gelijk werden. De gesimuleerde totale producties bij vast en mobiel laag licht stemden goed overeen met de waarnemingen. Het blijkt dat een stijging in het waargenomen takgewicht correspondeert met een lichtere stijging in het gesimuleerde takgewicht (Figuur 3.23). Dit geldt met uitzondering van de datapunten behorend bij de eerste snede van mobiel hoog (rood). Hier wordt een duidelijk te hoog takgewicht gesimuleerd. Een duidelijke verklaring kon niet worden gevonden.

Tabel 3.14 Waargenomen en gesimuleerde totaalgewichten (drogestof) van de takken bij de drie sneden. W = waarneming, S = simulatie. Het versgewicht van een tak kan worden geschat door een drogestofgehalte van ongeveer 23% aan te nemen, en dus het drooggewicht met ongeveer 4.3 te vermenigvuldigen.

Behandeling	Takgewicht (g m ⁻²)							
	Totaal		Eerste snede ¹		Tweede snede		Derde snede	
	W	S	W	S	W	S	W	S
404 vast hoog	481	427	145	140	168	143	168	143
405 vast hoog	459	403	145	132	154	133	161	137
404 vast laag	400	385	121	119	134	122	145	144
405 vast laag	400	366	117	115	137	116	147	135
404 mobiel hoog	358	422	104	137	120	143	135	142
405 mobiel hoog	370	424	97	138	133	143	140	143
404 mobiel laag	358	345	97	98	114	102	147	145
405 mobiel laag	346	339	81	95	125	99	140	145
gemiddeld	397	389	113	122	136	123	148	142

1: snede 1 is inclusief een oogst op 2 januari die bestond uit takken die onrijp geoogst werden, om het gewas op snee te houden.



Figuur 3.23 Waargenomen en gesimuleerde totaalgewichten (g drogestof m⁻²) van de takken bij de drie sneden. De datapunten die sterk afwijken van de 1:1 lijn behoren bij de eerste snede van mobiel hoog (rode punten).

3.7.1.3 Simulatie takontwikkeling

Terwijl in het experiment de oogst van een bepaalde snede over meerdere dagen is uitgesmeerd, wordt deze door het model op een bepaalde dag gesimuleerd (Tabel 3.15). De oorzaak ligt in het feit dat het model een gemiddelde plant simuleert, en geen variatie tussen planten kent. Dit is in werkelijkheid wel het geval. Het model simuleert soms kleine verschillen in takontwikkeling tussen hoge en lage lichtintensiteit

binnen een bepaalde kas en type belichting. De takontwikkeling wordt namelijk gesimuleerd in afhankelijkheid van de kastemperatuur en aangezien deze voor wat betreft hoge en lage lichtintensiteit soms enigszins verschillen, verschillen de snelheid van de takontwikkeling en het moment van oogstklaar zijn soms ook enigszins.

Het oogstmoment van de eerste en tweede snede wordt in de meeste gevallen enkele dagen te vroeg gesimuleerd. Het oogstmoment van de derde snede wordt in het merendeel van de gevallen gesimuleerd tijdens de periode waarin in het experiment ook werd geoogst.

Het is opmerkelijk dat de tweede snede een langere gerealiseerde ontwikkelingsperiode kent dan de eerste snede, terwijl de derde snede juist een kortere periode kent. Het langer zijn van de periode van de tweede snede zou kunnen worden verklaard door het feit dat een aantal takken van de eerste snede feitelijk iets te vroeg is geoogst, waardoor de ogen voor de volgende snede iets later uitlopen. Het korter zijn van de periode van de derde snede kan worden verklaard uit het feit dat zowel temperatuur als straling een rol spelen in de ontwikkelingssnelheid (Eveleens et al, 2003)

Er kan worden geconcludeerd dat de simulatie van het oogstmoment, gezien de spreiding van de werkelijke oogsten, zeer acceptabel is.

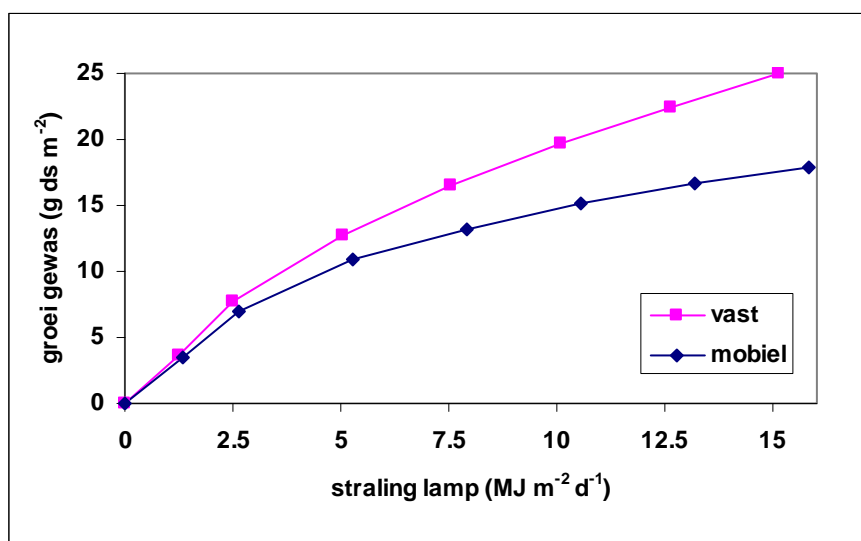
Tabel 15 Gemiddelde teeltduur (dagen) van de drie waargenomen en gesimuleerde sneden. W = waarneming, S = simulatie.

Behandeling	Teeltduur (dagen)					
	Eerste snede		Tweede snede		Derde snede	
	W	S	W	S	W	S
404 vast hoog	45	48	60	50	45	45
405 vast hoog	48	45	50	47	45	44
404 vast laag	51	48	56	50	45	46
405 vast laag	49	45	51	47	45	44
404 mobiel hoog	50	45	51	46	46	43
405 mobiel hoog	51	48	56	49	43	45
404 mobiel laag	50	45	53	47	43	44
405 mobiel laag	52	48	55	50	42	46
gemiddeld	49	47	54	48	44	45

3.7.1.4 Scenariostudies

Ook in het geval van de scenariostudies geldt dat de fotosynthese-eigenschappen voor vast en mobiel gelijk zijn. En aangezien er bij gelijk klimaat is gerekend, kunnen eventuele verschillen alleen worden toegekend aan de hoeveelheid ontvangen straling. Logischerwijze is net als in geval van de experimenten de cumulatieve groei sterk gekoppeld aan de cumulatieve hoeveelheid geabsorbeerde PAR (Tabel 3.16, figuur 3.26). Een hogere hoeveelheid straling impliceert meer groei. De vraag is dus: bij welk type belichting wordt binnen een dag de meeste straling geabsorbeerd?

Variatie in vermogen: Zowel voor vaste als mobiele belichting geldt dat verhoging van het lampvermogen leidt tot hogere groei. In het geval van vaste belichting is deze toename in groei hoger dan in het geval van mobiele belichting. De verklaring hiervoor is als volgt: De lichtreponscurve voor fotosynthese vertoont een afnemende meeropbrengst (zie bijvoorbeeld figuur 3.12). Het dagelijkse patroon van mobiel licht bestaat uit combinaties van lagere en hogere intensiteiten dan de gemiddelde lichtintensiteit. Maar vanwege de afnemende meeropbrengst kunnen de relatief hogere lichtintensiteiten de relatief lagere intensiteiten niet voldoende compenseren. De totale fotosynthese is dus lager dan wanneer de gemiddelde lichtintensiteit continu zou worden gegeven (zoals bij vast licht). Dit wordt geïllustreerd in Figuur 3.24.



Figuur 3.24 Een illustratief rekenvoorbeeld van de relatie tussen dagelijkse straling van lampen (op gewasniveau) en groei voor vaste en mobiele belichting.

Variatie in loopsnelheid: Een hogere of lagere loopsnelheid leidt niet tot een wezenlijk andere hoeveelheid geabsorbeerde straling, en dus ook niet tot een wezenlijk andere groei. Als een lamp sneller over de planten heenloopt, wordt de plant per omloop korter belicht. De twee factoren heffen elkaar op. Hiermee gecombineerde halvering van het vermogen heeft uiteraard wel effect.

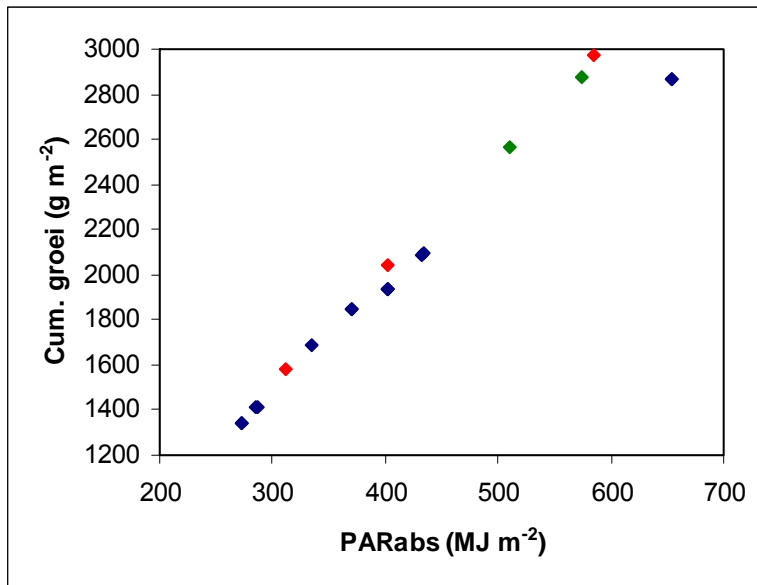
Dubbel stralingsniveau en dubbele loopsnelheid: De dubbele loopsnelheid heeft geen invloed, maar wel de verdubbeling van het lampvermogen.

Verkorting van het looptraject en lampvermogen: Een halvering van het looptraject van de lamp zal tot gevolg hebben dat de lamp vaker een plant passeert. Bij gelijkblijvende snelheid zullen de hoeveelheid ontvangen straling en groei toenemen. Het ligt dus voor de hand om te veronderstellen dat een korter looptraject kan samengaan met een lager lampvermogen. Uit scenario's 10, 11 en 12 blijkt dat gelijke reducties van traject en vermogen tot verlaging van de hoeveelheid geabsorbeerde straling en groei leiden. Als het traject wordt gehalveerd, moet het vermogen minder dan de helft worden gehalveerd.

Combinatie van vast en mobiel: De vraag is of de combinatie van vaste en mobiele belichting leidt tot hogere groei. In het hier gegeven rekenvoorbeeld leidt mobiele belichting met half lampvermogen, en half traject (de loopsnelheid heeft immers geen effect, zie hierboven) tot verlaagde groei (scenario 13). In plaats van een cumulatieve groei van 1996 g m⁻² wordt er 1901 g m⁻² gerealiseerd. Aanvullende vaste belichting van 32 en 51 W m⁻² op gewasniveau leidt tot een cumulatieve groei van respectievelijk 2615 en 2931 g m⁻². De groei wordt dus meer dan gecompenseerd. Deze vermogens op gewasniveau moeten worden vertaald naar werkelijk lampvermogen. En dit hangt af van de hoogte van de lampen en het aantal lampen per m². Het sterkere effect van vaste belichting op totale gewasgroei, dat in Figuur 3.24 werd geïllustreerd, is uit in Figuur 3.25 zichtbaar.

Tabel 3.16 Gesimuleerde cumulatieve hoeveelheid straling afkomstig van assimilatiebelichting boven het gewas (die van zonlicht bedroeg steeds 647 MJ m⁻²), geabsorbeerde fotosynthetisch actieve straling (PAR afkomstig van zon+lampen) en drogestofgroei voor de 12 scenario's. De cumulatieve drogestofgroei betreft de groei van hele planten tot en met de oogst van de derde snee, omvat het materiaal dat later is afgestorven, en omvat de wortelgroei.

Scenario	Vast / mobiel	Cum. straling lamp boven gewas (MJ m ⁻²)	Cum. geabsorbeerde PAR (MJ m ⁻²)	Cum. groei (g m ⁻²)	Omschrijving	
Variatie in vermogen						
15 (exp)	Vast	271	312	1578	Laag lampvermogen	
14 (exp)	Vast	431	401	2040	Hoog lampvermogen	
1	Vast	873	585	2973	Dubbel lampvermogen	
7 (exp.)	Mobiel	204	273	1401	Laag lampvermogen	
10 (exp.)	Mobiel	470	403	1996	Hoog lampvermogen	
2	Mobiel	1102	844	2923	Dubbel lampvermogen	
Variatie in loopsnelheid						
3	Mobiel	550	435	2146	Dubbele loopsnelheid lamp	
4 (exp.)	mobiel	470	403	1996	Normale loopsnelheid lamp	
5	Mobiel	545	433	2137	Halve loopsnelheid lamp	
Variatie in loopsnelheid bij half vermogen						
6	Mobiel	236	286	1463	half vermogen	dubbele loopsnelheid lamp
7 (exp.)	Mobiel	204	273	1401	half vermogen	normale loopsnelheid lamp
8	Mobiel	234	285	1458	half vermogen	halve loopsnelheid lamp
Dubbel stralingsniveau en snelheid						
9	Mobiel	1102	654	2920	Dubbel vermogen, dubbele snelheid	
Verkorting traject en afname vermogen						
10 (exp.)	Mobiel	470	403	1996	Standaard: experiment	
11	Mobiel	461	370	1900	Half vermogen, halve lengte traject	
12	Mobiel	367	335	1741	Kwart vermogen, kwart lengte traject	
Combinatie van vast en mobiel						
13	Mobiel	463	370	1901	Half vermogen, half traject	
17	Mobiel en vast	735	509	2615	Mobiel: laag vermogen, half traject. Gecombineerd met vaste belichting (laag vermogen). Combinatie van scenario's 13 en 15.	
16	Mobiel en vast	894	573	2931	Mobiel: half vermogen, half traject. Gecombineerd met vaste belichting (hoog vermogen). Combinatie van scenario's 13 en 14.	

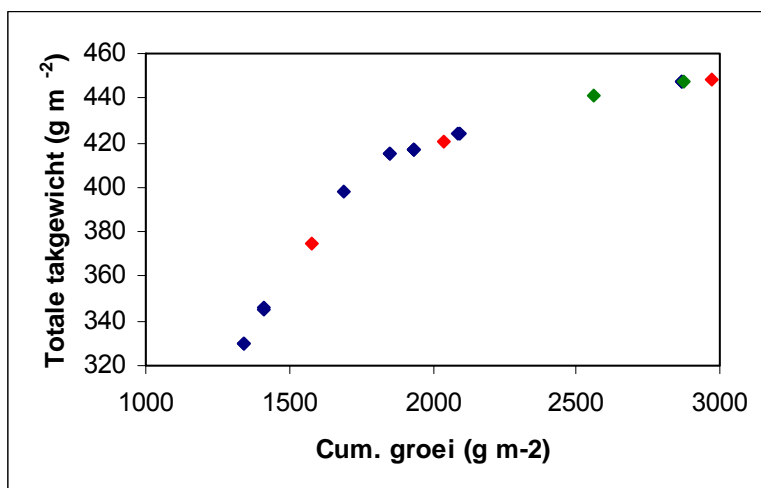


Figuur 3.25 De gesimuleerde cumulatieve gewasgroei (inclusief wortels, ingebogen pakket etc) van de nagerekende scenario's in relatie tot de totale hoeveelheid geabsorbeerde PAR. De scenario's kennen alleen mobiele belichting (blauw), alleen vaste belichting (rood) of een combinatie van mobiele en vaste belichting (groen).

Een hogere gewasgroei heeft zwaardere takken tot gevolg (Tabel 3.17), aangezien in deze scenario's het aantal takken per plant gelijk is gehouden. Er is wel een afnemend effect (Figuur 3.26). Het takgewicht stabiliseert op ongeveer 440 g drogestof m⁻², wat bij 3 snedes, 5.48 planten m⁻² en 1.9 takken per plant overeenkomt met 14.1 g drogestof per tak. Bij een drogestofgehalte van 23 % komt dit overeen met een takversgewicht van 61 gram.

Tabel 3.17 Gesimuleerde totaal gewichten (drogestof) van de takken bij de drie sneden voor de 12 scenario's.

Scenario	Vast / mobiel	Takgewicht (g m ⁻²)				Omschrijving	
		Totaal	Eerste snede	Tweede snede	Derde snede		
Variatie in vermogen							
15 (exp)	Vast	375	118	120	136	Laag lampvermogen	
14 (exp)	Vast	421	140	141	139	Hoog lampvermogen	
1	Vast	448	154	153	141	Dubbel lampvermogen	
7 (exp.)	Mobiel	330	98	100	132	Laag lampvermogen	
10 (exp.)	Mobiel	417	137	140	139	Hoog lampvermogen	
2	Mobiel	447	154	153	141	Dubbel lampvermogen	
Variatie in loopsnelheid							
3	Mobiel	424	142	144	139	Dubbele loopsnelheid lamp	
4 (exp.)	mobiel	417	137	140	139	Normale loopsnelheid lamp	
5	Mobiel	424	142	144	139	Halve loopsnelheid lamp	
Variatie in loopsnelheid bij half vermogen							
6	Mobiel	346	105	107	134	half vermogen dubbele loopsnelheid lamp	
7 (exp.)	Mobiel	330	98	100	132		normale loopsnelheid lamp
8	Mobiel	345	104	107	134		halve loopsnelheid lamp
Dubbel stralingsniveau en snelheid							
9	Mobiel	447	154	153	141	Dubbel vermogen, dubbele snelheid	
Verkorting traject en afname vermogen							
10 (exp.)	Mobiel	417	137	140	139	Standaard: experiment	
11	Mobiel	415	138	139	138	Half vermogen, halve lengte traject	
12	Mobiel	399	130	131	137	Kwart vermogen, kwart lengte traject	
Combinatie van vast en mobiel							
13	Mobiel	415	138	139	138	Half vermogen, halve snelheid, half traject	
17	Mobiel en vast	441	151	150	140	Mobiel: laag vermogen, halve snelheid, half traject. Gecombineerd met vaste belichting (laag vermogen). Combinatie van scenario's 13 en 15.	
16	Mobiel en vast	448	154	153	141	Mobiel: half vermogen, halve snelheid, half traject. Gecombineerd met vaste belichting (hoog vermogen). Combinatie van scenario's 13 en 14.	



Figuur 3.26 De gesimuleerde takproductie (totaal van 3 sneden, drooggewicht) van de nagerekende scenario's in relatie tot de cumulatieve gewasgroei. De scenario's kenden alleen mobiele belichting (blauw), alleen vaste belichting (rood) of een combinatie van mobiele en vaste belichting (groen).

3.7.2 Conclusies uit de modelberekeningen

De combinatie van experimenten en narekenen met het simulatiemodel diende om te evalueren in welke mate effecten van mobiele belichting op bladfotosynthese, drogestofverdeling en bladstrekking leidden tot effecten op productie. Er was door fotosynthese- en gewasmetingen aangetoond dat er geen effecten zijn op bladfotosynthese en bladstrekking, zodat alleen de effecten op drogestofverdeling resteerden voor modelmatige analyse. In de simulaties werd dit effect op drogestofverdeling vertaald naar het gewicht van de oogstbare takken.

Vervolgens werd het simulatiemodel gebruikt om in te schatten wat de effecten op productie zijn van een aantal verschillende strategieën (variatie in intensiteit en frequentie van de lichtpuls) van mobiele belichting. Het doel hierbij was om optimale belichtingstrategieën te kunnen kiezen (in termen van energie-efficiency).

De kassen 404 en 405, waarin de beide behandelingen voor mobiel en vast licht lagen, hadden niet hetzelfde klimaat en gewasgroei (Figuren 3.1 – 3.3). Om deze reden zijn de simulaties voor mobiel en vast licht voor beide compartimenten apart uitgevoerd.

Omdat er geen verschillen waren waargenomen tussen de fotosynthese karakteristieken van planten geteeld onder mobiel en vast licht, en omdat er evenmin verschil in bladstrekking was waargenomen, kunnen alle verschillen in groei worden toegekend aan de verschillen in lichtonderschepping. Dit laatste staat in direct verband met de lichtintensiteit van de assimilatielampen. In figuren 3.22 en 3.25 wordt het verband tussen onderschepte straling en groei geïllustreerd.

Een stijging in het waargenomen takgewicht correspondeerde met een stijging in het gesimuleerde takgewicht, zij het dat de stijging dan in het geval van de simulatie kleiner was. Hiermee werd geoordeeld dat het model voldoende toegerust was om de trends van de scenario's door te rekenen. Het resultaat van de scenariostudies was dat een hoger lampvermogen, of dit nu afkomstig was van mobiel licht of van vast licht, leidde tot een hogere totale groei en hoger totaal takgewicht. Het gewas kent immers geen veranderingen in het fotosynthetisch apparaat, wat door de metingen werd bevestigd. De loopsnelheid is niet van invloed op de hoeveelheid door het gewas ontvangen straling. Als een lamp sneller over de planten heenloopt, wordt de plant per omloop korter belicht. De twee factoren heffen elkaar op.

Hiermee gecombineerde halvering van het vermogen heeft uiteraard wel effect.

In de praktijk wordt de vraag gesteld of de verkorte lengte van het traject kan samengaan met een verlaagd vermogen. Dit is inderdaad het geval. Uit scenario's 10, 11 en 12 blijkt dat gelijke reducties van traject en vermogen tot verlaging van de hoeveelheid geabsorbeerde straling en groei leiden. Met andere woorden: als het traject wordt gehalveerd, moet het vermogen minder dan de helft worden gehalveerd om dezelfde groei te realiseren.

Een andere vraag is of er een optimale combinatie van mobiel en vast licht bestaat. Halvering van het mobiele lampvermogen kan worden gecompenseerd door aanvullende vaste belichting.

Het feit dat hier sprake is van lichtintensiteit op gewasniveau is een belangrijke kanttekening. Afhankelijk van de hoogte van de lampen, en het aantal lampen per m² resulteert dit in een werkelijk lampvermogen per m².

Het is te verwachten dat de resultaten voor andere cultivars van roos hetzelfde zullen zijn. De genetische variatie voor fotosynthesekarakteristieken tussen commerciële cultivars is in het algemeen vrij laag. En ook al is bijvoorbeeld het algemene fotosyntheseniveau van een cultivar A iets hoger dan dat van cultivar B, dan nog is het niet te verwachten dat de respons op mobiel versus vast licht anders zou zijn dan in dit onderzoek is gemeten. Ook uit het onderzoek naar mobiele belichting bij tomaat (Kaarsemaker et al., 2004) blijkt dat de cumulatieve productie op seizoensbasis niet door de wijze van belichting werd beïnvloed. Al met al lijkt de conclusie kunnen worden getrokken dat voor de kasvruchtgroenten de wijze van belichting niet van invloed is op de productie, mits op gewasniveau dezelfde straling wordt gerealiseerd.

4 Conclusies

Als mobiel en vast licht worden vergeleken bij dezelfde lichtsom zijn de conclusies dat:

Productie:

- Onder mobiele belichting is de takproductie in gram versgewicht per m² over de gehele proefperiode niet significant verschillend van de productie onder vaste belichting. Er is echter een trend dat de productie onder mobiel licht lager is dan onder vast licht. Dit geldt vooral bij het traditionele gewas, bij de hoge lichtsom.
- Het aantal takken is niet verschillend onder vast of mobiel licht. Ook hier is in het niet-synchrone gewas een trend te zien dat onder mobiel licht minder takken worden geproduceerd dan onder vast licht.
- Het takgewicht verschilt niet tussen mobiel- of vast licht.
- De taklengte verschilt niet tussen mobiel- of vast licht.
- De bladtemperatuur stijgt met 2 °C wanneer bij mobiel licht de lamp de plant passeert, hetgeen er op kan wijzen dat de verdamping niet snel genoeg op gang komt om het blad te koelen.
- De houdbaarheid van takken onder mobiel of vast licht verschilt niet.

Fotosynthesemetingen:

- De fotosynthese van bladeren onder mobiel licht is niet significant verschillend van die onder vast licht.
- De efficiëntie waarmee (dag-)licht wordt gebruikt is niet verschillend
- De inductie van de fotosynthese is onder mobiel licht even snel als onder vast licht.
- Een combinatie van alle metingen geeft niet aan dat mobiel licht efficiënter door het blad benut wordt dan vast licht.
- In de eerste weken na de voorgaande snee daalt de fotosynthese van het ingebogen blad in de loop van de dag. Waarschijnlijk komt dit door het ontbreken van groeiende delen aan de plant. De verlaagde lichtrespons zou kunnen betekenen dat 'smiddags en 'savondsbelichten van een gewas met weinig groeiende delen niet (energie-)efficiënt is.

Simulatie groei:

- De gesimuleerde plantgroei is, volgens een oud fysiologisch gegeven, direct gekoppeld aan de hoeveelheid onderschepte fotosynthetisch actieve straling, ervan uitgaande dat klimaatfactoren, zoals bijv CO₂ en temperatuur gelijk zijn.
- De trends in gesimuleerd takgewicht komen overeen met de waargenomen takgewichten.
- De gesimuleerde snelheid van gewasontwikkeling komt in het algemeen goed overeen met de waargenomen gewasontwikkelingssnelheid.
- Op detailniveau blijken drogestofverdeling en gewasontwikkeling soms moeilijk te simuleren, mede doordat in werkelijkheid soms bijvoorbeeld eerder of later dan voorgenomen wordt geoogst.

Simulatie verschillende belichtingsscenario's:

Wat betreft de groei van de totale plant (inclusief ingebogen pakket, bladval en wortelgroei) blijkt het volgende:

- Omdat de totale gewasgroei direct gekoppeld is aan de totale ontvangen fotosynthetisch actieve straling, resulteren gelijke dagelijkse hoeveelheden mobiel en vast licht in gelijke totale gewasgroei. De vraag wordt hiermee: hoe wordt het meest effectief straling geleverd?
- Een hogere of lagere loopsnelheid van de mobiele lamp heeft geen effect op de totale gewasgroei.

- Een verhoging van het vermogen van de mobiele lamp leidt tot een hogere gewasgroei.
- Een verkorting van het looptraject van de mobiele lamp leidt tot een hogere gewasgroei.
- Verkorting van het looptraject kan worden gecombineerd met zekere verlaging van het vermogen van de mobiele lamp zonder dat de gewasgroei afneemt.
- Mobiele belichting met half vermogen en een gehalveerd traject leidt tot lagere gewasgroei; dit kan worden gecompenseerd met vaste belichting.
- Ook hier is dus gevonden dat de lichtsom de groei bepaalt.

Wat betreft de productie (gram tak per m²) blijkt het volgende:

- De loopsnelheid heeft geen effect op de productie.
- Omdat in het model aangenomen is dat het aantal takken van synchrone planten altijd gelijk is leidt volgens het model meer licht tot zwaardere takken.
- Het mobiele lampvermogen kan worden verlaagd zonder dat de takproductie daalt. Het looptraject moet dan worden verkort zodat de lamp vaker over iedere plant beweegt. De verkorting van het looptraject van de lamp moet dan minder sterk zijn dan de vermindering van het lampvermogen. Bij doorgaande verkorting van het looptraject van de lamp zullen fysieke beperkingen een rol gaan spelen.
- Een andere mogelijkheid is om bij gelijke lengte van het looptraject het mobiele vermogen te verlagen en vaste belichting toe te voegen.

De vertaling van vermogen op gewasniveau moet worden vertaald naar lampvermogen. Dit hangt af van de hoogte van de lampen en van het aantal lampen per m².

Energie-consequenties:

- Er is geen energiebesparing mogelijk door mobiele belichting aan te leggen.
- Bij belichting van een gewas met weinig groeiende delen moet in acht worden genomen dat de fotosynthese-efficiëntie in de loop van de dag mogelijk afneemt. Onderzoek naar de effectiviteit van assimilatiebelichting in deze uren is in gang gezet.

5 Referenties

Eveleens, B. et al, 2003. Naar een planmatige teelt van roos, PPO-Glastuinbouw rapport G 133006.

Farquhar G.D., Caemmerer S. von and Berry J.A. 1980. A biochemical model of photosynthetic CO₂ assimilation in leaves of C₃ species. *Planta* 149: 78-90.

Kaarsemaker et al 2004. Mobiele belichting bij tomaat. PPO Glastuinbouw rapport 41717050.

Lambers, H., Chapin, F.S. en Pons T.L., 1998. *Plant Physiological Ecology*. PP44 e.v. Springer Verlag, ISBN 0-387-98326-0.

Loomis, R.S. en D.J. Conner, 1992. *Crop Ecology: Productivity and Management in Agricultural Systems*. Cambridge University Press 538 blz.

Pearcy, R.W. en W.A. Pfitsch (1995). The consequences of sunflecks for photosynthesis and growth of forest understory plants. In: *Ecophysiology of photosynthesis* (E-D Schulze & MM Caldwell, eds.), Springer-Verlag, Berlin, ISBN 3-540-58571-0, p.343 - 359.

Verbruggen, J. 2001. Combinatie mobiel licht met stationair licht levert meer op. *Vakblad voor de Bloemisterij* 19, p 56 – 57.

Bijlage 1

Mogelijke mechanismen voor verhoogde fotosynthese onder variërend licht

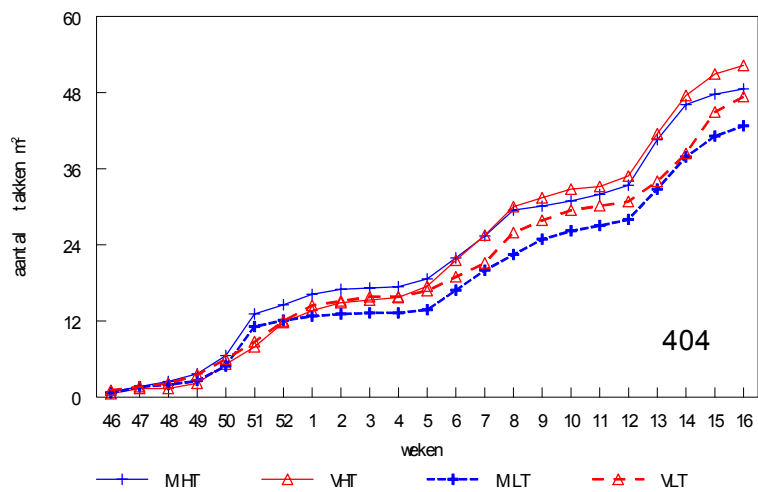
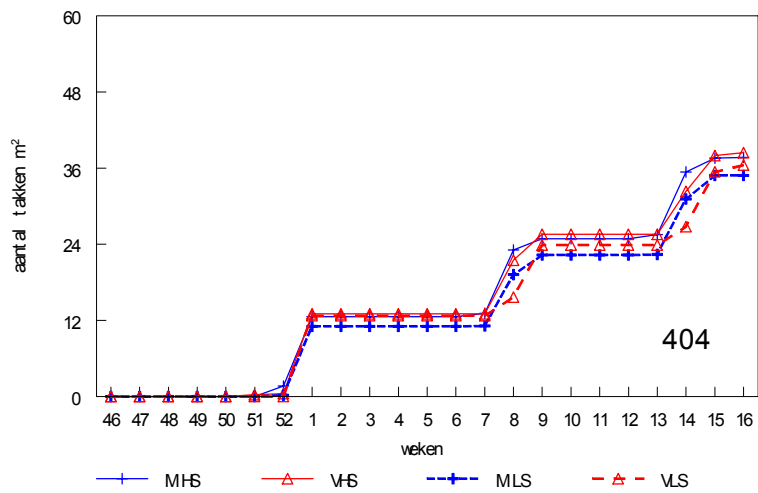
De omzetting van CO₂ in suikers is een complex proces met vele enzymen en tussenproducten. Als een plant in de schaduw in korte tijd aan een hoge lichtintensiteit blootgesteld wordt, moeten eerst de enzymen geactiveerd worden en extra tussenproducten aangemaakt voordat de fotosynthese sneller kan verlopen. De inductie van de fotosynthese kost dus tijd. Die tijd is sterk afhankelijk van het lichtniveau tijdens de schaduwperiode en de duur van de schaduwperiode. Vooral in korte lichtpulsen (< 1 min.) waarin de inductie van de fotosynthese niet optreedt kan de in de lichtreacties van de fotosynthese vastgelegde extra energie (ATP en NADPH) wel nuttig gebruikt worden om de lichtbenuttingsefficiëntie van het schaduwlicht te verhogen.

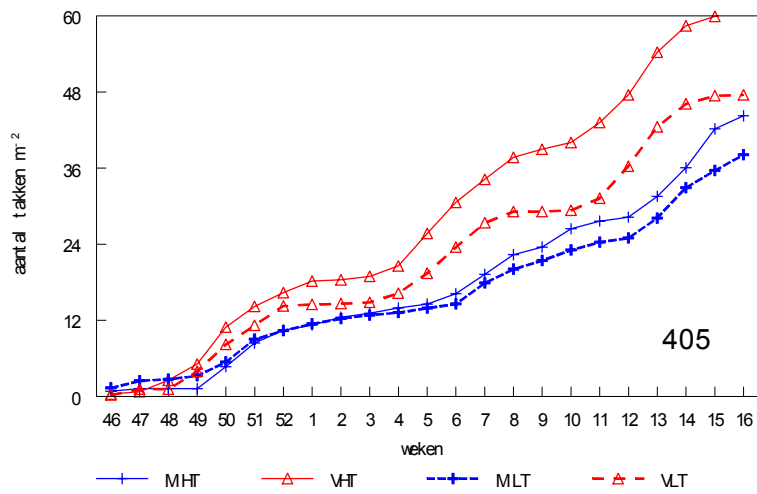
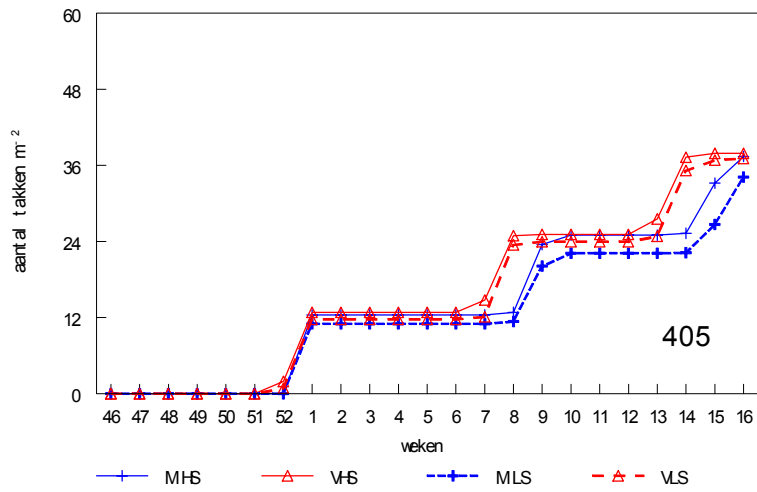
Fluctuerend licht, d.w.z. licht van snel wisselende intensiteit, is een algemeen verschijnsel. Het komt bijvoorbeeld voor in de onderlaag in bossen waar de lichtintensiteit laag is, maar af en toe vele malen hoger als een straal zonlicht op de bodemplanten valt. Dit komt maar af en toe - minder dan 10% van de tijd - voor maar kan wel voor 35% tot 80% van de dagelijkse lichtsom zorgen (Percy en Pfitsch 1995). Een voorbeeld van een goed bestudeerde schaduwplant is *Adenocaulon bicolor*. De dagelijkse fotosynthese is met hoge tijdsresolutie gemeten. Daarnaast is de lichtafhankelijkheid van de fotosynthese gemeten en is de dagelijkse fotosynthese berekend op basis van een simulatiemodel. Vergelijking van gesimuleerde en werkelijke fotosynthese laat zien dat de werkelijke fotosynthese zo'n 15 – 30% lager is. De oorzaak voor dit verschil ligt in het trage op gang komen van de fotosynthese, anders gezegd de inductie van de fotosynthese en de verliezen die hier optreden worden blijkbaar niet gecompenseerd door de efficiëntere lichtbenutting in de schaduwperiode.

Uit het voorgaande kunnen de volgende conclusies worden getrokken over de mogelijke achtergronden van de mobiele belichting en de opzet van het onderzoek. De lichtsituatie van rozen onder mobiele belichting (lange slag) lijkt met name in de winter (lage lichtsom daglicht) op de situatie zoals boven omschreven. We hebben daarom gekozen voor het meten van zowel de lichtafhankelijkheid als van de inductie van de fotosynthese. Met de resultaten van de lichtafhankelijkheidsmetingen kan de gewasfotosynthese en de gewasproductie gesimuleerd worden en vergeleken met de gemeten productie. Met de inductiemetingen kan informatie verkregen worden over verlaging efficiëntie lichtbenutting door inductie en over verhoogde efficiëntie lichtbenutting van daglicht door aanwezigheid van mobiel licht.

Bijlage 2

Gegevens productie, uitgesplitst per kas, per type gewas





Figuren 1 t/m 4 - Cumulatief aantal geogste takken in de afzonderlijke Belichtingsbehandelingen in de kas.

Bijlage 3

De productiegetallen zijn ook nog per teeltperiode apart geanalyseerd. Dit gaf geen nieuwe inzichten t.o.v. de analyses over de gehele teeltperiode heen (zie hoofdstuk 2.5)

Eerste teelt periode

In de eerste teelt periode is er alleen een significant verschil in aantal takken tussen hoog en laag lichtniveau overall (tabel 6, onder blok). Oorzaak waarom verder geen significante verschillen gevonden worden moet gezocht worden in het feit dat er in deze periode de aantallen en gewichten per veldje bepaald werden in plaats van per tak.

Tabel 1 Aantal takken per m² in eerste teelt periode, verschillende letters geven significante verschillen aan.

Aantal	Lichtniveau →	Laag	Hoog	Gemiddeld Belichting*Teelt
	Belichting ↓			
Traditioneel	Vast	13.8 a	15.3 a	14.6 a
	Mobiel	11.4 a	12.6 a	12.0 a
Synchroon	Vast	12.7 a	12.9 a	12.8 a
	Mobiel	11.1 a	13.2 a	12.2 a
Gemiddeld Lichtniveau		12.3 a	13.5 b	

Tweede teelt periode

Conform de resultaten uit de gehele proef zijn de significante verschillen in de tweede teelt identiek, met uitzondering van het ontbreken van een significant verschil tussen vast en mobiel in de traditionele teelt, wanneer belichting en teelt gecombineerd worden (tabel 7 en 9, linker blok) bij zowel aantal takken als totale biomassa productie. Onder hoog licht zijn de takken significant zwaarder, gemiddeld 2 g (tabel 8, blok onder).

Tabel 2 Aantal takken per m² in tweede teelt periode, verschillende letters geven significante verschillen aan.

Aantal	Lichtniveau →	Laag	Hoog	Gemiddeld Belichting*Teelt
	Belichting ↓			
Traditioneel	Vast	15.3 ab	20.9 c	18.1 b
	Mobiel	12.6 ab	15.4 bc	14.0 ab
Synchroon	Vast	11.2 a	12.6 ab	11.9 a
	Mobiel	11.3 ab	12.3 ab	11.8 a
Gemiddeld Lichtniveau		12.3 a	14.7 b	

Tabel 3 Gemiddeld takgewicht in tweede teelt in g, verschillende letters geven significante verschillen aan.

Takgewicht	Lichtniveau →	Laag	Hoog	Gemiddeld Belichting*Teelt
	Belichting ↓			
Traditioneel	Vast	52.8 a	53.5 a	53.2 a
	Mobiel	49.8 a	48.1 a	48.8 a
Synchroon	Vast	51.8 a	55.9 a	54.0 a
	Mobiel	46.3 a	50.2 a	48.4 a
Gemiddeld Lichtniveau		50.1 a	52.1 b	

Tabel 4 Totaal takgewicht in de tweede teelt in g, verschillende letters geven significante verschillen aan.

Totaal gewicht	Lichtniveau →	Laag	Hoog	Gemiddeld Belichting*Teelt
	Belichting ↓			
Traditioneel	Vast	807 c	1116 d	962 c
	Mobiel	628abc	737.bc	683 bc
Synchroon	Vast	578 ab	702 abc	640a.b
	Mobiel	521 a	617 abc	569 a
Gemiddeld Lichtniveau		620 a	767 b	

Derde teelt periode

Conform de resultaten uit de gehele proef zijn de significante verschillen in de derde teelt identiek, met uitzondering van het ontbreken van een significant verschil tussen vast en mobiel in de traditionele teelt, wanneer belichting en teelt gecombineerd worden (tabel 11 en 13, linker blok) bij zowel aantal takken als totale biomassa productie. Even als in de tweede teelt zijn de takken onder hoog licht significant 2 g zwaarder (tabel 12, blok onder)

Ook in de derde teelt periode is een significant verschil in lengte gevonden tussen synchrone- en traditionele teelt. Bij de traditionele teelt waren de takken circa 9 cm langer.

Tabel 5 Aantal takken per m² in derde teelt periode, verschillende letters geven significante verschillen aan.

Aantal	Lichtniveau →	Laag	Hoog	Gemiddeld Belichting*Teelt
	Belichting ↓			
Traditioneel	Vast	18.5 bc	21.1 c	19.8.b
	Mobiel	16.8 bc	18.9 bc	17.8.b
Synchroon	Vast	12.7 ab	13.0 ab	12.9.a
	Mobiel	12.3 a	12.8 ab	12.6.a
Gemiddeld Lichtniveau		14.6 a	15.7 a	

Tabel 6 Gemiddeld takgewicht in derde teelt in g, verschillende letters geven significante verschillen aan.

Takgewicht	Lichtniveau →	Laag	Hoog	Gemiddeld Belichting*Teelt
	Belichting ↓			
Traditioneel	Vast	55.0 a	55.2 a	55.1 a
	Mobiel	54.0 a	53.0 a	53.5 a
Synchroon	Vast	51.6 a	55.2 a	53.4 a
	Mobiel	50.5 a	53.2 a	51.9 a
Gemiddeld Lichtniveau		52.8 a	54.2 b	

Tabel 7 Totaal gewicht in de derde teelt in g, verschillende letters geven significante verschillen aan.

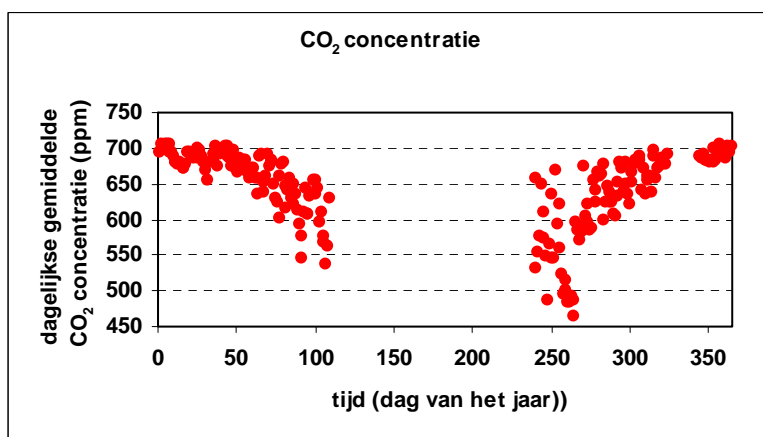
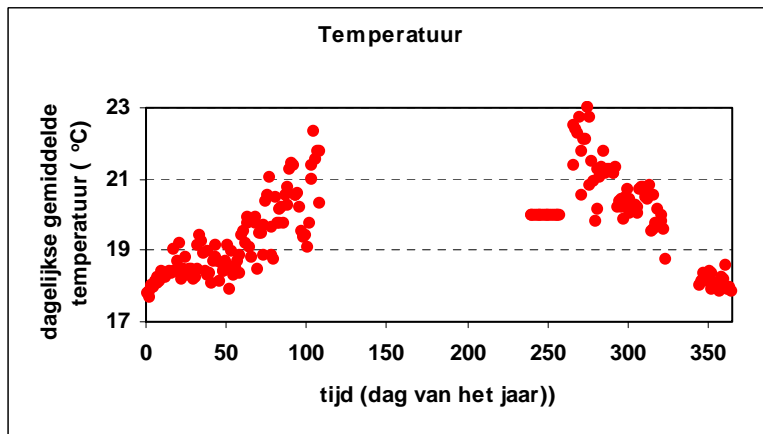
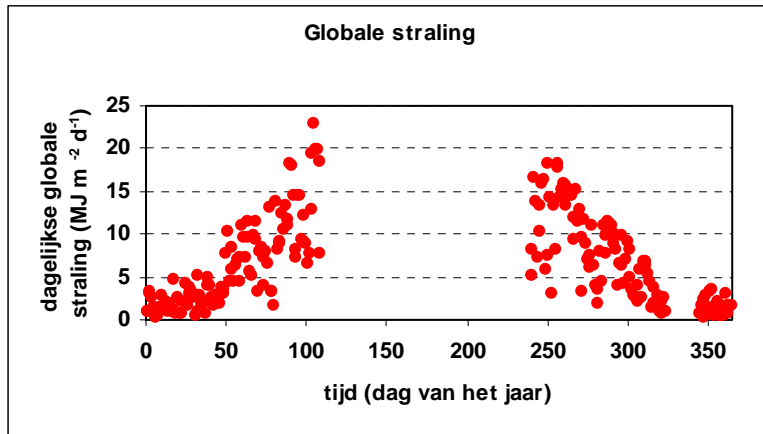
Totaal gewicht	Lichtniveau →	Laag	Hoog	Gemiddeld Belichting*Teelt
	Belichting ↓			
Traditioneel	Vast	1018 bc	1167 c	1093 c
	Mobiel	910 b	1000 bc	955 b
Synchroon	Vast	657 a	716 a	686 a
	Mobiel	622 a	680 a	651 a
Gemiddeld Lichtniveau		769 a	852 b	

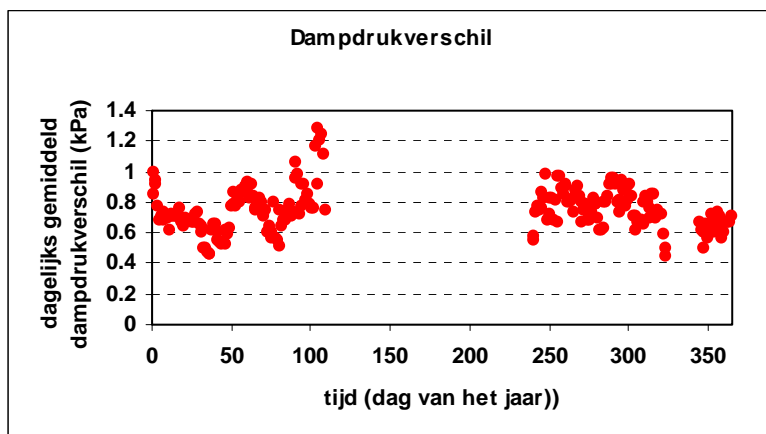
Wanneer het takgewicht wordt gedeeld door de taklengte krijg je de verhouding tussen gewicht en lengte (ratio gewicht/lengte). Onder hoog licht is het takgewicht per cm significant hoger (tabel 15, blok onder). Daarnaast zijn de takken in de synchrone teelt per cm zwaarder dan in de traditionele teelt (resultaten niet weergegeven). Dit verklaart waarom er buiten het lichteffect geen significante verschillen worden gevonden in het gemiddeld takgewicht ondanks de kortere taklengte in de synchrone teelt.

Tabel 8 - Ratio takgewicht/taklengte over de hele proef, verschillende letters geven significante verschillen aan.

Ratio Gewicht/Lengte	Lichtniveau →	Laag	Hoog	Gemiddeld Belichting*Teelt
	Belichting ↓			
Traditioneel	Vast	0.61 a	0.61 a	0.61 a
	Mobiel	0.57 a	0.57 a	0.57 a
Synchroon	Vast	0.63 a	0.66 a	0.64 a
	Mobiel	0.58 a	0.60 a	0.59 a
Gemiddeld Lichtniveau		0.60 a	0.61 b	

Bijlage 4





Dagelijkse waarden van globale straling (totaal), kasttemperatuur (gemiddeld), dampdrukverschil (gemiddeld) en CO₂-concentratie (gemiddeld) van behandeling 404 vast. De waarden zijn uitgezet tegen de dag van het jaar, waarbij het begin van de teelt op dag 240 (28 augustus 2003) valt, om vervolgens van dag 365 aan het einde van de x-as naar dag 1 (1 januari 2004) aan het begin van de x-as te springen. Einde waarnemingen op dag 107 (16 april 2004)